

Valorització sostenible del residu verd al municipi de Porqueres

MEMÒRIA DEL PROJECTE DE FINAL DE CARRERA DE CIÈNCIES AMBIENTALS

Juny 2012

Pablo Acuña Rubio

Jordi Burch Vinyals

Meritxell Casellas Vergés

Francisca Espinosa Casanova

Francesc Prat Burjachs

IPSUM Assessoria Ambiental
Carrer Rutlla, 33 - Girona 17002 - Telèfon i Fax: 972 85 10 00
ipsum.consultoria@hotmail.com





FACULTAT DE CIÈNCIES

Llicenciatura de Ciències Ambientals

VALORACIÓ SOSTENIBLE DEL RESIDU VEGETAL AL MUNICIPI DE PORQUERES

**Memòria del Projecte de Final de Carrera de Ciències
Ambientals**

Realitzada per:

Pablo Acuña Rubio

Jordi Burch Vinyals

Meritxell Casellas Vergés

Francisca Espinosa Casanovas

Francesc Prat Burjachs

Tutoritzada per:

Emili Mató

Rafael González

Sebastià Puig

SEBASTIÀ PUIG I RAFAEL GONZÁLEZ, professors del Departament d'Enginyeria Química de la Universitat de Girona.

CERTIFIQUEN

Que en *Pablo Acuña Rubio*, en *Jordi Burch Vinyals*, la *Meritxell Casellas Vergés*, la *Francisca Espinosa Casanova*, i en *Francesc Prat Burjachs* han realitzat, sota la seva direcció, el projecte que, amb el títol **“Valorització sostenible del residu verd al municipi de Porqueres”**, es presenta en aquesta memòria, la qual constitueix el seu Projecte Final de Carrera de la Llicenciatura de Ciències Ambientals.

I per que així consti signem el present certificat a

Girona, 8 de Juny de 2012

Sebastià Puig

Rafael González

Pablo Acuña Rubio

Jordi Burch Vinyals

Meritxell Casellas Vergés

Francisca Espinosa Casanova

Francesc Prat Burjach

ÍNDIX DE CONTINGUTS

AGRAÏMENTS.....	XII
ACRÒNIMS.....	XIII
1. PRESENTACIÓ.....	1
1.1 INTRODUCCIÓ.....	1
1.2 MARC LEGISLATIU	2
1.2.1 Normativa comunitària	2
1.2.2 Normativa estatal.....	2
1.2.3 Normativa autonòmica	3
1.2.4 Normativa comarcal.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓ	4
1.4 OBJECTIUS.....	5
2. AMBIT D'ESTUDI.....	7
2.1 CARACTERÍSTIQUES GENERALS DE L'ÀREA D'ESTUDI	7
<i>El Pla de l'Estany.....</i>	<i>7</i>
<i>Porqueres</i>	<i>8</i>
Característiques del clima.....	8
Característiques dels habitatges.....	9
Característiques de la zonificació.....	10
Característiques de la flora i la fauna	12
Característiques de la gestió	13
2.2 RESIDU VERD	14
3. MARC TEÒRIC	16
3.1 BIOCARBÓ	16
3.1.1 <i>Descripció del procés que es duu a terme en l'obtenció de biocarbó.....</i>	<i>17</i>
3.1.2 <i>Beneficis i inconvenients.....</i>	<i>17</i>
3.2 PLANTA DE COMPOSTATGE	18
3.2.1 <i>Descripció del procés que es duu a terme a la planta de compostatge</i>	<i>20</i>
3.2.2 <i>Beneficis i inconvenients.....</i>	<i>23</i>
3.3 ABOCADOR.....	24
3.3.1 <i>Descripció del procés que es duu a terme a un abocador</i>	<i>24</i>
3.3.2 <i>Beneficis i inconvenients.....</i>	<i>25</i>
3.4 PLANTA DE BIOMASSA.....	26
3.4.1 <i>Funcionament d'una planta de biomassa: caldera de pèl·lets.....</i>	<i>27</i>
3.4.2 <i>Beneficis i inconvenients.....</i>	<i>28</i>
4. MATERIALS I MÈTODES	30
4.1 MATERIALS	30
4.1.1 CALDERA DE BIOCARBÓ	30
4.1.2 <i>Aparell mesurador i analitzador de gasos i temperatura de calderes i combustions.</i>	<i>32</i>
4.1.3 <i>Mesurador de Cabals de gasos. Tub de Prandtl.</i>	<i>33</i>
4.2 MÈTODES	33
4.2.1 <i>Càlculs fets per trobar el cabal de biogàs mitjançant el tub de Prandtl.</i>	<i>33</i>
4.2.2 <i>Conversió de dades de la taula 6.1</i>	<i>34</i>

4.2.3 Quantificació de l'eficiència de les tecnologies pels tractaments de residu verd	35
4.3 PROCEDIMENT EXPERIMENTAL.....	36
4.3.2 Campanya 1	37
4.3.2 Campanya 2	39
4.3.3 Campanya 3	40
5. RESULTATS DE LA FASE D'ANÀLISIS	42
5.1 FASE D'ANÀLISI.....	42
5.1.1 Anàlisis del biocarbó.....	42
5.1.1.1 Balanç energètic.....	42
5.1.1.2 Balanç econòmic	42
5.1.1.3 Balanç ambiental	44
5.1.1.4 Balanç social.....	45
5.1.2 Anàlisis de la planta de compostatge.....	46
5.1.2.1 Balanç energètic.....	46
5.1.2.2 Balanç econòmic	46
5.1.2.3 Balanç ambiental	47
5.1.2.4 Balanç social.....	48
5.1.3 Anàlisis d'un abocador.....	49
5.1.3.1 Balanç energètic.....	49
5.1.3.2 Balanç econòmic	49
5.1.3.3 Balanç ambiental	50
5.1.3.4 Balanç social	52
5.1.4 Anàlisis d'una planta de biomassa	53
5.1.4.1 Balanç energètic.....	53
5.1.4.2 Balanç econòmic	53
5.1.4.3 Balanç ambiental	54
5.1.4.4 Balanç social.....	55
5.2. RESULTATS DE LA FASE D'ANÀLISIS FET AL CAMP.....	55
5.2.1 Campanya experimental 1.....	55
5.2.2 Campanya experimental 2.....	56
5.2.3 Campanya experimental 3.....	58
5.2.3 Comparativa de les campanyes experimentals.....	60
Anàlisis de temperatura.....	60
Anàlisis de Gasos	61
6. DISCUSSIÓ	64
6.1 DISCUSSIÓ DELS RESULTATS OBTINGUTS EN LES CAMPANYES EXPERIMENTALS	64
6.2 DISCUSSIÓ DELS RESULTATS OBTINGUTS DE LES TECNOLOGIES ESTUDIADAES	66
7. PROPOSTES DE MILLORA.....	71
8. PLA DE SEGUIMENT.....	74
9. CONCLUSIONS.....	76
10. BIBLIOGRAFIA.....	77
ANNEX.....	80

ÍNDIX DE FIGURES

FIGURA 2.1: MAPA DELS ESPAIS INCLOSOS A LA XARXA NATURA 2000 AL PLA DE L'ESTANY.	7
FIGURA 2.2: MAPA DE LA COMARCA DEL PLA DE L'ESTANY I MUNICIPI DE PORQUERES.	8
FIGURA 2.3: PLA D'ORDENACIÓ URBANÍSTICA MUNICIPAL. ZONIFICACIÓ DEL SÒL NO URBANITZABLE.	10
FIGURA 2.4: FRANJA EXTERIOR DE PROTECCIÓ DE LA URBANITZACIÓ DE PUIG SURÍS (PORQUERES).	12
FIGURA 2.5: DISTRIBUCIÓ DELS CONTENIDORS AMB LA FREQUÈNCIA DE RECOLLIDA.	13
FIGURA 3.1: CICLE DE VIDA DEL BIOCARBÓ.	16
FIGURA 3.2: DIAGRAMA DEL BIOCARBÓ I BIOGÀS AMB EL SEGREST DE CARBÓ VEGETAL.	17
FIGURA 3.3: CALDERA DE BIOCARBÓ.	18
FIGURA 3.4: IMATGE DE PLANTA DE COMPOSTATGE.	19
FIGURA 3.5: ABOCADOR CONTROLAT.	24
FIGURA 3.6: SECTORS POTENCIALS DELS QUALS ES POT EXTREURE BIOMASSA.	26
FIGURA 3.7: CALDERA DE PÈL-LETS.	27
FIGURA 3.8: PÈL-LET.	28
FIGURA 4.1: CALDERA DE BIOCARBÓ.	30
FIGURA 4.2: CILINDRE INTERN DE LA CALDERA DE BIOCARBÓ I TERMÒMETRE.	31
FIGURA 4.3: TUB DE RECIRCULACIÓ.	31
FIGURA 4.4: MESURADORA DE GASOS I TEMPERATURA. BRIGON 500-1.	32
FIGURA 4.5: MESURADOR DE CABALS DE GASOS I TUB DE PRANDTL.	33
FIGURA 4.6: DESCÀRREGA DEL FORN I ENSACAT.	37
FIGURA 4.7: FUITES DE GASOS.	38
FIGURA 4.8: PRIMERA FASE. CREMA DE COMBUSTIBLE.	39
FIGURA 4.9: SEGONA FASE. RECIRCULACIÓ DEL BIOGÀS.	39
FIGURA 4.10: FORADAMENT XEMENEIA.	39
FIGURA 4.11: CALDERA SENSE EL TUB CREMADOR.	40
FIGURA 4.13: OBTENCIÓ DE LES DADES DE CABAL DE BIOGÀS.	41
FIGURA 4.12: CIRCUIT DE RECIRCULACIÓ DEL BIOGÀS.	41
FIGURA 5.1: BALANÇ DEL CICLE DE CO ₂ QUAN ES GENERA BIOMASSA.	54

FIGURA 5.2: CAMPANYA EXPERIMENTAL 1, TEMPERATURA.....	56
FIGURA 5.3: CAMPANYA EXPERIMENTAL 2, PRIMERA FASE CO ₂ VS. O ₂ I TEMPERATURA.	57
FIGURA 5.4: CAMPANYA EXPERIMENTAL 3, PRIMERA FASE O ₂ VS. CO ₂ I TEMPERATURA.	59
FIGURA 5.5: CAMPANYA EXPERIMENTAL 3. NIVELLS DE GASOS A LA SEGONA FASE EN L'OBTENCIÓ DE BIOCARBÓ.	59
FIGURA 5.6: TEMPERATURES DE LA CALDERA DE BIOCARBÓ A LA PRIMERA FASE..	60
FIGURA 5.7: CAMPANYA EXPERIMENTAL 3. TEMPERATURA I CABAL DE BIOGÀS.	61
FIGURA 5.8: COMPARATIVA DE NIVELLS DE CO ₂ I O ₂ A LA PRIMERA FASE DE LES CAMPANYES 2 I 3.	62
FIGURA 7.1 FUITA DE BIOGÀS.....	71
FIGURA 7.2: FORN AMB XEMENEIES INICIALS	72
FIGURA 7.3: FORN AMB LES XEMENEIES MODIFICADES.....	72

ÍNDEX DE TAULES

TAULA 2.1: NOMBRE D'HABITATGES FAMILIARS PRINCIPALS I NOMBRE DE LLARS PER DIMENSIÓ, 2001.....	9
TAULA 2.2: CLASSIFICACIÓ DEL SÒL NO URBANITZABLE SEGONS LA CLAU I SUPERFÍCIE.....	11
TAULA 2.3. RECOLLIDA SELECTIVA AL MUNICIPI DE PORQUERES.....	14
TAULA 3.1: MATERIALS COMPOSTABLES CLASSIFICATS SEGONS LA SEVA DEGRADABILITAT.....	21
TAULA 3.2: COMPOSICIÓ COMPOST DE LA PLANTA DE COMPOSTATGE D'OLOT.....	22
TAULA 4.1 ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES DE LA BRIGON 500-1.....	32
TAULA 5.1: COSTOS DE PRODUCCIÓ DE BIOCARBÓ.....	43
TAULA 5.2: PREU DEL BIOCARBÓ EN EL MERCAT ACTUAL.....	44
TAULA 5.3: TÍPICA COMPOSICIÓ DEL BIOGÀS.....	45
TAULA 5.4: COSTOS DE TRACTAMENT DE FANGS VS. FORM.....	46
TAULA 5.5: KILOGRAMS DELS PRINCIPALS NUTRIENTS APORTATS PER L'ÚS D'UNA TONA DE COMPOST (CASTELLDEFELS) I ESTALVI EQUIVALENT DE CO ₂	47
TAULA 5.6: BENEFICIS AMBIENTALS DEL COMPOST PRODUÏT.....	47
TAULA 5.7: DESPESES DE L'AJUNTAMENT DE PORQUERES DE L'ANY 2011 PER LA GESTIÓ DE RESIDU VERD I EL COST DEL SERVEI DE TRANSPORT I MANTENIMENT.....	50
TAULA 5.8: CONSTITUENTS TÍPICS TROBATS EN EL GAS D'ABOCADOR.....	51
TAULA 5.9: REPARTIMENT DE CONTENIDORS DE RESIDU VERD I FREQUÈNCIES DE RECOLLIDA (2011).....	51
TAULA 5.10: RECOLLIDA DE RESIDU VERD QUE ES FA AL MUNICIPI DE PORQUERES.....	52
TAULA 5.11: GENERACIÓ PER CÀPITA DE RESIDUS MUNICIPALS A PORQUERES.....	52
TAULA 5.12: CONSUM DE COMBUSTIBLES.....	53
TAULA 5.13: COMPARATIVA COSTOS DEL PÈL·LET I EL GASOIL.....	54
TAULA 5.14: COMPARATIVA D'AMORTITZACIÓ I COSTOS.....	54
TAULA 5.15: DADES DE LA CAMPANYA 9/05/2012.....	56
TAULA 5.16: DADES DE LA CAMPANYA 23/05/2012.....	57
TAULA 5.17: DADES DE LA CAMPANYA 30/05/2012.....	58
TAULA 6.1: RESULTATS DE LES CAMPANYES EXPERIMENTALS.....	64
TAULA 6.2: RANG ESTABLERT SEGONS ELS RESULTATS DELS INDICADORS D'EFICIÈNCIA.....	66

TAULA 6.3: COMPARATIVA DELS DIFERENTS INDICADORS ESTABLERTES PER A CADA TECNOLOGIA ESTUDIADA.	67
TAULA 6.4: COMPARACIÓ DELS INDICADORS D'EFICIÈNCIA ENTRE LES DIFERENTS TECNOLOGIES DE TRACTAMENT DEL RESIDU VERD.	68

Agraïments

Redactar els agraïments ens fa obrir els ulls i veure que ja s'acaba un projecte el qual fa uns mesos no sabíem ben bé que ens depararia.

Ens posem a pensar en tot el que em viscut, i no podem evitar pensar en totes aquelles persones que en algun moment ens han donat alguna empenta perquè el projecte tirés endavant.

Primer de tot ens agradaria donar les gràcies als nostres tutors Sebastià Puig i Rafael González per resoldre els dubtes que ens sorgien, per haver-nos donat les empentes i confiança necessàries per poder tirar el projecte endavant i fer sorgir i créixer les habilitats que sovint tant interiorment tenim guardades.

A l'Emili Mató gràcies per el suport durant tot el projecte.

També volem agrair l'acolliment que ens va donar en Deli Saavedra però deixar formar-nos part del projecte i ajudar-nos en el seu desenvolupament.

Agrair a l'equip de persones que ens han ajudat i hem col·laborat per fer el treball experimental han estat una peça clau, com en Toni, en Jordi i en Alexander Deltell.

Voldríem mencionar a l'ajuntament de Porqueres per la informació proporcionada i acollir el projecte.

Per últim agrair als companys, amics i família que tot i no haver intervingut directament en el projecte, sí que han participat en el nostre dia a dia durant aquests mesos de treball i anys de carrera; els quals ens han donat el suport i ànims necessaris en els moments difícils, i ens han fet el camí més suau i inoblidable.

A ells gràcies per haver cregut en nosaltres.

Pablo Acuña Rubio Jordi Burch Vinyals, Meritxell Casellas Vergés, Francisca Espinosa Casanova,
i Francesc Prat Burjach

Girona, 8 de Juny de 2012

ACRÒNIMS

GEOTÈXTILS Fibres de polipropilè o polièster d'alta permeabilitat, que s'empren per a la protecció de geomembranes i filtració de lixiviats.

GEOXARXES Xarxes poroses de polietilè d'alta permeabilitat, que s'utilitzen com a capes de drenatge de lixiviats i gasos, com a alternativa a capes de sorra o grava. Solen anar adherits a un geotèxtil.

AÏLLANTS ARGILLOSOS GEOSINTÈTICS Combinació d'argila (bentonita) i un material geotèxtil, formant capes de 1 cm de gruix. Baixa permeabilitat. S'empren com a alternativa a les capes d'argila compactada.

GEOMEMBRANES Làmines plàstiques de polietilè, PVC, poliamides o poliestirè, flexibles de baixa permeabilitat.

SNU Sòl no urbanitzable.

POUM Pla d'ordenació urbanística municipal.

RSU Residu sòlid urbà.

FORM Matèria orgànica dels residus municipals.

TROMMEL Cilindre de malla utilitzat per separar la matèria orgànica del rebuig groller.

IPPC “Intergovernmental Panel on Climate Change” Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic.

PROGEMIC Programa de gestió de residus municipals de Catalunya.

AIA Avaluació de l'impacte ambiental.

1. PRESENTACIÓ

1.1 Introducció

Cada dia resulta més evident que les emissions de gasos d'efecte hivernacle per part de l'home estan afectant al clima del planeta. Durant aquest últim segle s'han registrat increments en la temperatura global del planeta que no són explicables només per causes naturals.

L'últim informe de l'IPCC situa l'augment mitjà per final de segle entre 1,1 °C i 6,4 °C respecte a la temperatura mitjana del període 1980-1999 ([Solomon et al., 2007](#)). Aquest augment provocarà danys cada vegada més costosos i afectarà a l'equilibri del nostre entorn natural, el que ens proveeix d'aliments, matèries primeres i altres recursos vitals ([Navarro et al., 2008](#)).

La degradació d'aquests recursos fruit de l'augment de la població, l'increment de la indústria i el gran desenvolupant tecnològic dels últims anys, ha incrementat en gran mesura l'emissió de residus contaminants al medi ambient i han fet plantejar a l'ésser humà el seu modus vivendi gestionant responsablement els residus generats i desenvolupant tecnologies i mitjans energètics menys contaminants, més eficients i més respectuosos amb el medi ambient.

Aquesta gestió responsable passa no només per la gestió de tots aquells residus d'origen antropogènic (plàstic, alumini, paper, cartró...) sinó també per tota aquella biomassa acumulada fruit de la poda i el desbrossament d'àrees verdes o de masses forestals, tant pel seu manteniment com per complir la legislació en vigor referent a la prevenció d'incendis ja que els canvi d'usos del sòl que s'han dut a terme els últims anys ha fet augmentar les masses forestals de Catalunya.

Un exemple el trobem al Pla de l'Estany, dins al municipi de Porqueres. En aquesta població el residu verd ha esdevingut una problemàtica degut a que, per una banda la part no urbanitzable ocupa un 66.4% del municipi i aquest fet implica grans esforços per mantenir les franges exteriors de 25 metres lliures de vegetació per prevenir els incendis i per altra banda cal tenir en compte que la majoria de cases tenen jardí i per tant provoquen un excés de restes de poda. Això ha fet augmentar proporcionalment les despeses de la seva gestió. A més a més cal afegir que a Porqueres un 65.7% de la població viu en habitatges unifamiliars i disposen de patis i jardins que generen una gran quantitat de poda que actualment es recull en contenidors de residu verd.

Aquest projecte té com a principal objectiu trobar una possible solució a la resta vegetal que es tracta com a residu al municipi de Porqueres, i actualment suposa un cost de gestió important, podent-les convertir en producte i extreure'n un benefici tant econòmic com social i mediambiental.

1.2 Marc legislatiu

Els residus municipals estan regulats per una sèrie de normes cada dia més estrictes les quals exigeixen una disminució progressiva dels residus generats als municipis. A més a més, també es demana un increment de la valorització i la reutilització d'aquests.

En aquest apartat es destaquen els aspectes més rellevants de la normativa en vigor en relació a la fracció vegetal entesa com a residu, d'acord amb els diferents àmbits administratius.

1.2.1 Normativa comunitària

Directiva 1999/31/CE, relativa a l'abocament de residus.

La directiva 1999/31/CE, del 26 d'abril, relativa a l'abocament de residus estableix en els apartats a, b i c de l'apartat 2 de l'article 5, que s'han de reduir els residus municipals biodegradables destinats als abocadors fins a un 75%, 50% i 35% respecte els residus municipals biodegradables generats el 1995, al 16/7/2006, 16/7/2009 i 16/7/2016 respectivament.

En l'apartat 1 de l'article 5, es detalla que l'estratègia haurà d'incloure mesures de reciclatge, compostatge, biogàsificació o valorització de materials/energia.

1.2.2 Normativa estatal

Reial decret 1481/2001 d'abocament de residus.

El Reial Decret 1481/2001, de 27 de desembre, per el que es regula l'eliminació de residus mitjançant dipòsit en abocador, és la transposició de la Directiva 1999/31/CE, relativa a l'abocament de residus.

Per assolir els terminis, l'apartat 1 de l'article 5, regula que abans del 16 de juliol de 2003 l'Estat i les Comunitats Autònomes hauran elaborat un programa conjunt d'actuacions per reduir els residus biodegradables destinats a l'abocador que inclourà mesures de reciclatge, compostatge i altres formes de valorització, com ara la producció de biogàs mitjançant digestió anaeròbia. En el Reial Decret, a diferència de la Directiva, no es fa menció a la utilització del residu biodegradable com a biocombustible.

Llei 5/2003, de mesures de prevenció d'incendis forestals.

La Llei 5/2003, de 22 d'abril, de mesures de prevenció d'incendis forestals en les urbanitzacions sense continuïtat immediata amb la trama urbana, regula l'obligació de realitzar franges exteriors de protecció, entre d'altres. Els treballs es concreten en realitzar una franja exterior de 25 metres lliures de vegetació seca i massa arbòria aclarida, s'ha de fer el manteniment del terreny de les parcel·les no edificades lliures de vegetació i amb la massa arbòria aclarida, i s'han de mantenir nets de vegetació seca els vials privats.

Segons l'apartat 2 de l'article 3 de la Llei 5/2003, s'ha de regular per reglament la retirada i eliminació de les restes vegetals procedents de la poda i neteja.

Llei 6/93, reguladora de residus.

L'article 47.1 de la Llei 6/93, de 15 de juliol, reguladora de residus estableix l'obligació de realitzar la recollida selectiva als municipis de més cinc mil habitants per tal d'afavorir la valorització dels residus. En l'apartat 2 del mateix article s'estableix l'obligació d'implantar el lliurament separat dels residus orgànics.

1.2.3 Normativa autonòmica

PROGREMIC

El PROGEMIC estableix objectius genèrics que afecten la gestió de la fracció vegetal:

1. Reduir la quantitat de matèria orgànica destinada a deposició.
2. Impulsar la recollida selectiva a l'origen, tant domiciliària com per als sectors generadors de matèria orgànica.
3. Optimitzar la valorització tant material com energètica de la matèria orgànica, utilitzant les millors tecnologies disponibles adequant el tractament a cada tipus de residu orgànic.
4. La gestió dels residus originats en el territori de Catalunya, de conformitat amb el **principi de proximitat**.
5. La valorització dels residus com a via prioritària de gestió de residus. La valorització material dels residus tindrà caràcter prioritari sobre l'aplicació dels principis de suficiència i de proximitat.

Decret 123/2005, de mesures de prevenció d'incendis forestals.

El Decret 123/2005, de 14 de juny, de mesures de prevenció dels incendis forestals en les urbanitzacions sense continuïtat immediata amb la trama urbana, desplega la Llei 5/2003, tot regulant els requeriments que s'hi preveuen. En l'article 10.1, s'hi regula la gestió dels residus de poda i neteja, plantejant el transport a cremadors controlats, centrals tèrmiques, plantes de compostatge, **centrals d'aprofitament de biomassa o plantes similars**.

Decret 16/2010 Pla territorial sectorial d'infraestructures de gestió de residus municipals.

El Pla territorial sectorial d'infraestructures de gestió de residus municipals té com a objectiu determinar les instal·lacions de gestió de residus municipals que han de donar servei als diferents àmbits territorials de Catalunya, per tal de garantir el compliment dels objectius de reciclatge i valorització del Programa de gestió de residus municipals de Catalunya.

Aquest decret regula:

- La gestió dels residus segons el principi de proximitat de les instal·lacions als llocs on es produeixen.
- Limitació del rebuig i, en conseqüència:

Assegurar que el 16 de juliol de 2016 s'ha reduït en un 65% la deposició de residus municipals biodegradables respecte als dipositats l'any 1995, d'acord amb el que disposa el Reial decret 1481/2001, de 27 de desembre, pel qual es regula la disposició del rebuig dels residus en dipòsit controlats.

El Pla territorial sectorial d'infraestructures de gestió de residus municipals regula entre d'altres les plantes d'incineració i altres tractaments tèrmics.

1.2.4 Normativa comarcal

BOP de Girona núm. 8 - 13 de gener de 2005. Ordenança reguladora de la recollida, transport i gestió de residus a la comarca del pla de l'estany.

CAPÍTOL 2.- Els residus municipals. Article 8. Serveis de recollida sectorial de residus.

L'Ajuntament o el Consell Comarcal en cas de delegació de la competència, pot establir la prestació de diferents serveis de recollida sectorial de residus municipals, com:

- La recollida de residu verd.

CAPÍTOL 6. Gestió de residu verd. Article 41. Restes vegetals produïdes per particulars en els seus domicilis.

El residu verd i les restes d'esporga produït en petites quantitats pels particulars, pot ser portat a la deixalleria comarcal i dipositat en el corresponent contenidor. També es pot dipositar en els contenidors de residu verd que en el seu cas puguin distribuir els ajuntaments pels carrers del municipi.

1.3 Justificació

El residu verd o vegetal és aquell provinent dels treballs de poda de l'arbrat públic o d'espais privats, dels treballs de desbrossament, del manteniment de jardins i parcs, tan públics com privats, i, en definitiva, de totes les restes vegetals que es generin a la nostra comarca o comarques lindars. La producció anual d'aquest residu varia estacionalment de forma important ja que depèn de les diferents característiques climàtiques que afecten directament les restes de fracció vegetal.

Porqueres és un municipi de la comarca del Pla de l'Estany. El municipi està integrat per set pobles. Mata, les Pedreres, Miànigues, Pujarnol, Porqueres, Usall i Merlant. La matriu que uneix aquests 7 pobles està formada per boscos, l'estany de Banyoles i terrenys agrícoles.

A Porqueres es generen al voltant de 270 tones de residu verd durant l'any les quals són portades a l'abocador (deixalleria), a la planta de compostatge o són eliminades en cremes controlades. Aquest pes equival a unes despeses molt elevades, al voltant de 35.700 € (Ajuntament de Porqueres, 2010). Al ser un municipi de 4.431 habitants i de 33,6 km² s'ha decidit centrar l'estudi a aquest municipi per les seves característiques i facilitat alhora de disposar de les dades.

Porqueres és el tercer municipi que més recicla de la comarca (43,4%) i el segon que menys residus genera (31,1kg/hab.), any 2010.

La gestió que es porta a terme amb el residu verd és la recollida selectiva mitjançant contenidors repartits pel municipi. I el seu principal destinatari, l'abocador, on s'acumulen piles de residu verd triturat, per portar-lo a la planta de compostatge d'Olot. Aquesta és doncs, la gestió que segueix aquest residu a la comarca. Però no sabem si és la més adient des del punt de vista ambiental, econòmic i social, sobretot tenint en compte totes les sortides que podria tenir aquest residu.

És per això que **s'ha decidit implementar un nou sistema d'avaluació de la rendibilitat de cada tecnologia utilitzada pel tractament del residu verd.**

Es basa en implementar un sistema d'anàlisi mitjançant diferents indicadors que puguin identificar quina de les tecnologies aplicables a la gestió del residu, és més o menys adient. La idea principal és que aquest mètode pugui servir com a pauta per qualsevol municipi de menys de 5000 habitants o de menys de 35 km².

Es transforma un residu (problema) en un producte (recurs), mitjançant l'aplicació de noves tecnologies. En aquest projecte es comparen diferents tecnologies per tal de saber quina és la més eficient:

- a) *Tecnologies actuals*: crema controlada i abocadors.
- b) *Tecnologies ja consolidades*: planta de biomassa i planta de compostatge.
- c) Nova tècnica anomenada *biocarbó*.

A partir dels diferents indicadors triats, és determinarà quina de les tecnologies és la millor.

1.4 Objectius

Aquest projecte té com a objectiu principal:

- **Determinar la tecnologia més eficient per valoritzar el residu verd, obtenint un producte final reutilitzable, beneficis i sostenible tant a nivell ambiental com social.**

Per poder assolir aquest objectiu s'han de seguir una sèrie de sub-objectius:

- Recopilar informació sobre la gestió dels residus de poda arbrat municipal, poda de particulars i restes forestals dut a terme per l'Ajuntament de Porqueres.
- Identificar les principals zones forestals del municipi de Porqueres, d'on s'extraurà la major part del residu verd.
- Quantificar les tones de restes de poda, ja siguin privades o municipals i les de restes forestals.
- Analitzar les tecnologies utilitzades al municipi per la gestió del residu verd.
- Investigar altres tecnologies que valoritzen el residu verd, com la planta de biomassa, la planta de compostatge i el biocarbó .
- Obtindre dades de les plantes de biomassa i de compostatge i fer un estudi de camp sobre la tecnologia anomenada biocarbó.
- Analitzar el balanç econòmic, les emissions de gasos d'efecte hivernacle, l'eficiència energètica, el balanç ambiental i el balanç social de les tecnologies emprades a Porqueres i comparar-les amb les altres estudiades.
- Planificar i analitzar el procés de producció del biocarbó en un prototip de caldera mitjançant campanyes experimentals.

Amb aquests objectius es trobarà l'alternativa més eficient per la valorització del residu per tal de minimitzar l'impacte i tenir com a resultat final l'obtenció d'un producte.

2. AMBIT D'ESTUDI

2.1 Característiques generals de l'àrea d'estudi

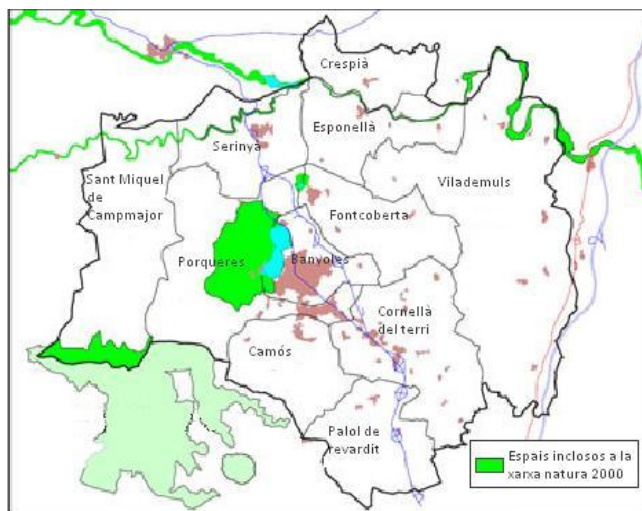
El Pla de l'Estany

El Pla de l'Estany és una comarca que agrupa onze municipis. Amb 262,83 km², és la tercera comarca més petita de Catalunya, després del Barcelonès i del Garraf. Es situa just al nord de la ciutat de Girona, a l'interior de les comarques gironines. La comarca té una densitat de població de 114,7 hab./km² i la població total és de 30.153 habitants ([cens idescat, 2011](#)).

Els termes municipals es caracteritzen perquè són poc extensos; el més extens és Vilademuls, amb 61,54 km², i la resta de municipis tenen menys de 40 km². Pel que fa a la població, Banyoles, és el municipi més poblat, amb 18.327 habitants. Per darrere d'aquest, segueixen Porqueres, Cornellà del Terri, Fontcoberta i Serinyà. La resta de municipis tenen menys de 1.000 habitants.

El clima és típicament mediterrani, amb temperatures suaus, estius secs i pluges abundants la resta de l'any. Com en altres zones de les comarques gironines, hi són habituals els vents freds i secs de la tramuntana. És un dels entorns naturals més privilegiats i diversos del país. La seva singularitat està clarament lligada a l'aigua: el sistema lacustre, format per un conjunt d'estanyols i destacat per l'Estany de Banyoles, que n'és el tret d'identitat.

L'entorn natural de la comarca també destaca per la diversitat i per la riquesa de la flora i la fauna. Existeix una gran varietat d'espècies animals, especialment al voltant de l'Estany. Pel que fa a la vegetació, predominen els pins i les alzines, tot i que també podem trobar salzes,



verns, freixes i pollancre, que són espècies habituals del bosc de ribera. És per això que la comarca disposa de figures de protecció d'espais naturals, es manté dins el Projecte de Xarxa Natura 2000 l'espai PEIN de l'Estany de Banyoles, que afecta els municipis de Banyoles, Porqueres i Fontcoberta i l'espai PEIN de les Muntanyes de Rocacorba - Puig de la Banya del Boc dins al terme municipal de Sant Miquel de Campmajor.

Figura 2.1: Mapa dels espais inclosos a la xarxa natura 2000 al Pla de l'Estany.

Font: Consell comarcal del Pla de l'Estany.

S'inclou també el Riu Fluvià, 1.174 Ha. que corresponen al Domini Públic Hidràulic d'aquest riu. Un 23,8% d'aquest espai proposat es trobaria dins la comarca del Pla de l'Estany i concretament afectaria els municipis de Vilademuls, Serinyà, Sant Miquel de Campmajor, Esponellà i Crespià, de major a menor importància (Figura 2.1).

Porqueres

Porqueres és un municipi del Pla de l'Estany, que connecta pel nord amb Serinyà i al sud amb Camós. És el segon municipi amb més habitants de tota la comarca, amb una densitat de població de 4.431 habitants i està integrat per set pobles que figuren com a disseminats. Porqueres té una superfície de 33,6 Km² amb una matriu forestal i una orografia variada: des de planes agrícoles fins a vessants boscoses, i es troba a una altitud sobre el nivell del mar de 182 metres.



Figura 2.2: Mapa de la comarca del Pla de l'Estany i municipi de Porqueres.

Font: Consell comarcal del Pla de l'Estany.

Característiques del clima

El clima de Porqueres, és el típicament mediterrani. Tot i ser un municipi d'interior, la seva proximitat amb el litoral li proporciona temperatures suaus durant tot l'any. A la primavera abunden els dies assolellats amb temperatures agradables. Els estius són calorosos, amb mitjanes de 24 °C, i els hiverns són suaus i secs, al voltant dels 7°C, comportant una amplitud tèrmica anual moderada. No hi sol glaçar entre el maig i l'octubre. A la tardor, en canvi, les temperatures es moderen i les pluges són freqüents, amb valors mitjans anuals que augmenten progressivament dels 700 mm als 900 mm de precipitació.

Característiques dels habitatges

El nucli urbà de Porqueres es troba concentrat al disseminat de Mata, i la resta d'habitatges estan repartits per tot el municipi, fent-lo un poble amb una gran dispersió de cases.

Com mostren les dades del Idescat (2011), el 75,7% dels habitatges tenen una superfície major de 90 m² (Taula 2.1) i el 65,7% dels habitatges hi viuen més de tres persones (Taula 2.1), això és degut a que el seu reglament municipal només permet la construcció de pisos en el nucli urbà i aquest fet afavoreix la construcció de cases en tot el poble. A més el reglament també estableix que la façana principal i els laterals de la casa han d'estar 1,5 m separats del voral i de la propietat veïna respectivament. Això fa que indirectament, els habitatges disposin d'un jardí més ampli, on s'hi planten tot tipus d'arbres ornamentals.

El fet de tenir un nombre important de cases amb jardí, pot provocar un excés de les restes de poda, sobretot a finals d'any quan els habitants es disposen a podar els seus arbres.

Taula 2.1: Nombre d'habitatges familiars principals i nombre de llars per dimensió, 2001.

Superfície útil (m ²)	Habitatges	%
Fins a 59	14	1,2
De 60 a 89	264	23,1
De 90 a 119	407	35,5
De 120 i més	460	40,2
Total	1.145	100

Dimensió	Habitatges	%
Una persona	138	12,1
Dues persones	255	22,3
Tres persones	268	23,3
Quatre persones o més	484	42,3
Total	1.145	100

Font: Idescat.

Característiques de la zonificació

L'Ajuntament de Porqueres ha redactat el POUM (Pla d'ordenació urbanística municipal) (pendent d'aprovació) on es zonifica el sòl del municipi. Amb aquest document es pretén determinar i limitar les zones urbanitzables del poble. El total de SNU (sòl no urbanitzable) és de 3.153,44 Ha, és dir 31,534 Km². Per tant el municipi de Porqueres disposa de 2,066 Km² de sòl urbanitzable.

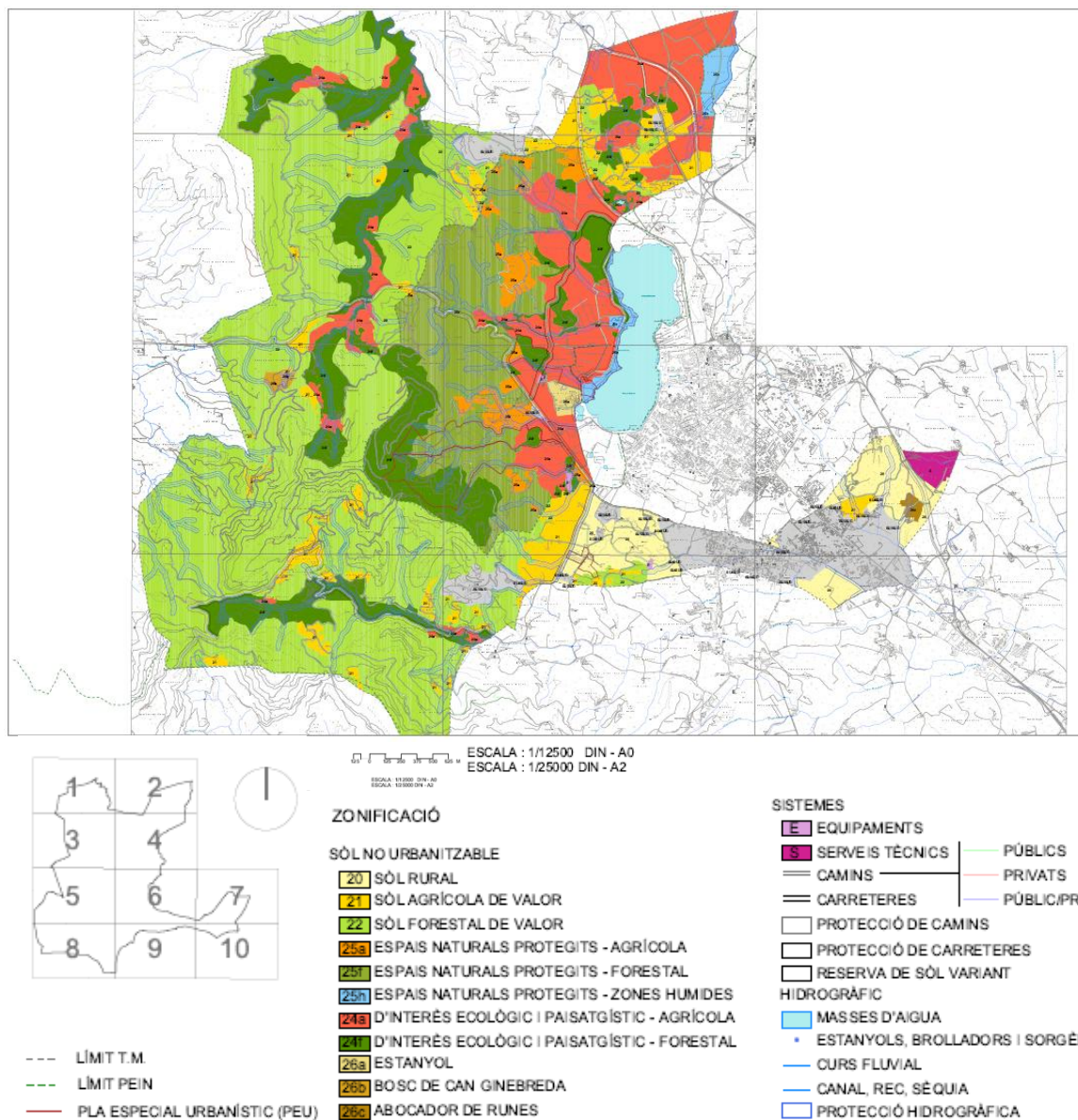


Figura 2.3: Pla d'Ordenació Urbanística Municipal. Zonificació del sòl no urbanitzable.

Font: Ajuntament de Porqueres, 2012.

Taula 2.2: Classificació del sòl no urbanitzable segons la clau i superfície.

Classificació	Superfície (Ha)
Sòl rural	75,87
Sòl de valor agrícola	260,96
Sòl de valor forestal	1.433,25
Sòl d'interès ecològic i paisatgístic	515,99
agrícola	198,77
forestal	317,21
Espais naturals protegits	821,56
agrícola	69,28
forestal	341,89
zones humides	49,67
Sòl dotacional per serveis públics	17,77
equipament turístic	9,33
equipament cultural	5,62
Equipaments	6,59
Sistema d'equipaments tècnics	21,45

Font: Ajuntament de Porqueres.

Pel que fa el sòl no urbanitzable es classifica segons la seva categoria i valor. Porqueres disposa de diferents valors de sòl forestal, com són: el sòl de valor forestal (1.433,25 Ha), de sòl d'interès ecològic i paisatgístic - forestal (317,21 Ha) i d'espais naturals protegits - forestals (341,89 Ha). És a dir, 2.092,35 Ha. corresponen a sòl forestal, aquest representa un 66,4% del sòl no urbanitzable (Taula 2.2 i Figura 2.3).

Per tant, en el municipi, cada vegada que es produeixen fenòmens meteorològics adversos, es genera un nombre elevat de restes forestals mortes que s'han de retirar dels camins. Aquestes restes i les que puguin quedar dins els boscos, poden afavorir la propagació d'un incendi forestal i esdevenir un risc més elevat per la població.

A conseqüència d'això, l'Ajuntament de Porqueres, en compliment de la Llei 5/2003, de mesures de prevenció d'incendis forestals que regula l'obligació de realitzar franges exteriors de 25 metres lliures de vegetació seca i massa arbòria. Realitza la retirada de la massa forestal (Figura 2.4). Segons l'apartat 2 de l'article 3 de la Llei 5/2003, s'ha de regular per reglament la retirada i eliminació de les restes vegetals procedents de la poda i neteja. Per tant, aquesta es transporta a la deixalleria comarcal o es tritura.

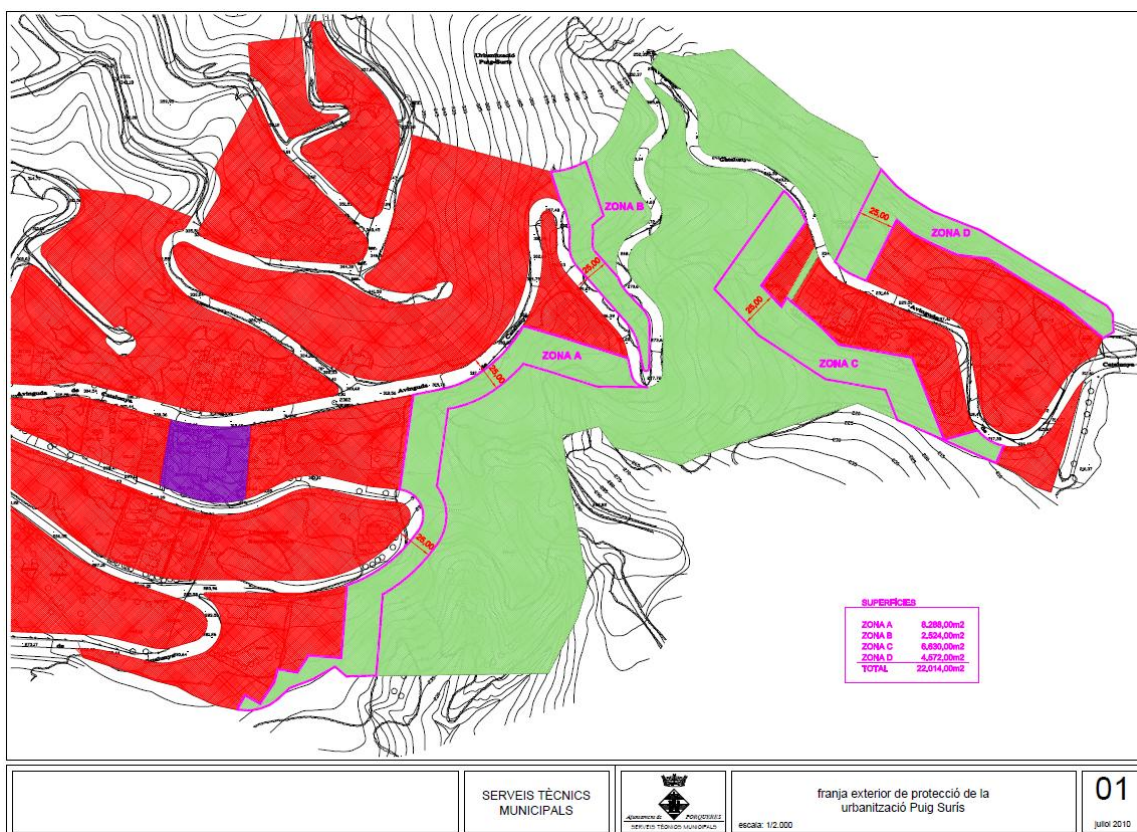


Figura 2.4: Franja exterior de protecció de la urbanització de Puig Surís (Porqueres).

Font: Ajuntament de Porqueres, 2012.

Característiques de la flora i la fauna

La vegetació potencial de l'entorn de l'Estany de Banyoles ha sofert una modificació històrica, des del neolític fins a l'actualitat, diferents estadis de vegetació s'han anat alternant segons la climatologia i segons les activitats humanes. Encara es poden veure fotografies de l'Estany dels anys 50 i 60 amb camps de conreu llaurats fins a tocar l'aigua i amb les muntanyes pelades i sense vegetació. Les últimes dècades han premès la recuperació de gran part de la vegetació forestal i enguany moltes comunitats s'estan recuperant i algunes espècies interessants que havien desaparegut s'han retrobat a l'espai.

La matriu forestal consta de 6 espècies dominants:

- Escleròfil·les: l'alzina surera (*Quercus suber*) i l'alzina (*Quercus ilex*).
- Coníferes: el pi blanc (*Pinus halepensis*), el pi pinyer (*Pinus pinea*) i el pinastre (*Pinus pinaster*).
- Caducifòlia: el castanyer (*Castanea sativa*).

També s'hi troben fins a 7 espècies més, relativament abundants com el roure martinenc (*Quercus humilis*), el pi roig (*Pinus sylvestris*), el faig (*Fagus sylvatica*), la pinassa (*Pinus nigra*), els pollancre de plantació (cultivats de diverses espècies de *Populus*), el plàtan (*Platanus x hispanica*) i el pi insigne (*Pinus radiata*) (Burriel et al., 2001).

Característiques de la gestió

A partir de l'any 2004 el consistori va decidir canviar el seu sistema de gestió per l'actual, ja que anteriorment les restes de poda dels particulars es dipositaven en els contenidors de rebuig i això provocava un increment del RSU i una mala gestió ambiental. No s'ha d'oblidar que en molts municipis encara és així. Actualment, l'Ajuntament de Porqueres per tal de facilitar als usuaris particulars la recollida d'aquests residus, i estalviar-los el desplaçament fins a la deixalleria, ha instal·lat 11 contenidors de residu verd repartits per tot el municipi, on s'hi recullen un cop per setmana les restes de poda provinents dels jardins dels seus habitants (Figura 2.5).

Ara a l'Ajuntament de Porqueres es plantegen una millora en la seva eficiència econòmica i mediambiental com a municipi, reduint la despesa que suposa **la gestió de la part de restes forestals que suposen un import de 37.500 €/anuals** l'any 2010 i que simplement són triturades o transportades a l'abocador, podent esdevenir un subproducte aprofitable econòmicament pel municipi.

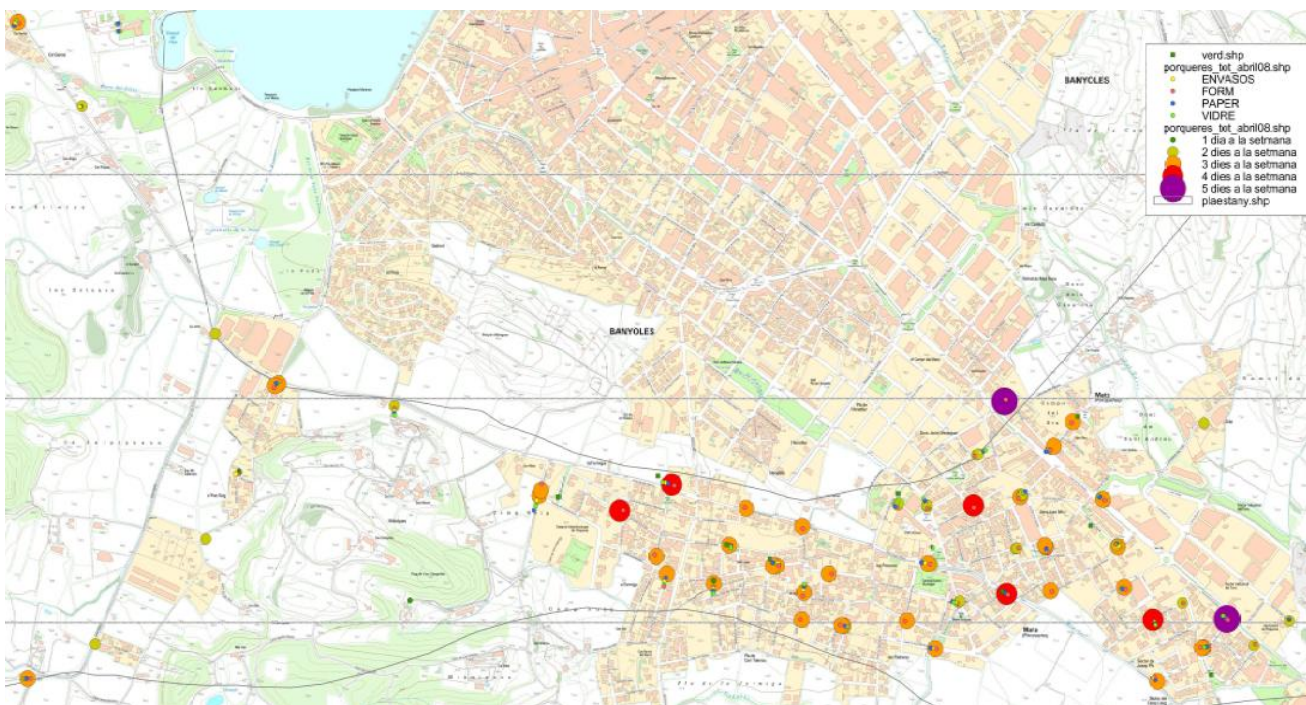


Figura 2.5: Distribució dels contenidors amb la freqüència de recollida.

Font: Consell comarcal del Pla de l'Estany 2010.

Taula 2.3. Recollida selectiva al Municipi de Porqueres.

Municipi Porqueres				
Residus	Any 2011 (Tn)	%	Any 2010 (Tn)	Increment
PAPER	106,9	5%	129,4	-17,4%
ENVASOS	73,1	3%	87,2	-16,1%
VIDRE	90,2	4%	97,0	-7,0%
CARTRÓ	14,6	1%	19,3	-24,5%
FORM	32,2	2%	37,7	-14,6%
FORM	133,6	6%	115,6	15,5%
VERD total	267,1	13%	263,9	1,2%
DEIXALLERIA+FUSTES+ TEXTIL	130,7	6%	168,2	-22,3%
REBUIG	97,6	5%	110,1	-11,3%
REBUIG	1171,3	55%	1111,7	5,4%
Total	2117,5	100%	2140,1	-1,1%

Font: Consell comarcal del Pla de l'Estany.

La recollida selectiva a Porqueres l'any 2011 correspon a un 40% de tots els residus. I el percentatge de restes de residu verd total, al municipi és un 13%, un 1,2 % més que en l'any anterior (2010) (Taula 2.3). Aquesta dada s'ha anat incrementat amb els anys, degut a que l'Ajuntament ha impulsat una forta campanya de conscienciació respecte a la recollida selectiva. Tot i que al poble s'intenta fer un ús eficient del residu, les despeses de la valorització del producte continuen sent molt elevades.

2.2 Residu Verd

Els municipis generen una sèrie de residus ja siguin de tipus industrials, comercials, o domèstics. Aquests residus es divideixen en diferents tipus depenent del material de cada un (Taula 2.3).

El nostre estudi es basa en "El residu verd del municipi de Porqueres". Aquest el diferenciem de la següent manera:

Restes vegetals: Residus orgànics biodegradables d'origen vegetal, susceptibles de degradar-se biològicament. A efectes de la seva gestió es pot subdividir en dos corrents específics que serà necessari gestionar de forma diferenciada.

- a) Fracció vegetal de mida petita i tipus no llenyós (gespa, fullaraca, rams de flors, etc.)
- b) Poda, fracció vegetal de mida gran i tipus llenyós, que requereix d'una trituració prèvia a la seva valorització.

Poda: Residus orgànics biodegradables d'origen vegetal, de tipus llenyós, generats en l'esporga d'arbres o arbustos. La correcta gestió de la poda requereix d'una recollida específica i una trituració prèvia, que en redueix la seva mida, optimitzant el seu transport i facilitant-ne la seva valorització.

La gestió de residus és un tema d'especial interès ambiental i social a Catalunya. Tot i així encara es desconeixen moltes tecnologies i les seves característiques pel tractament de residus. És per això que cal trobar tecnologies que siguin les noves promeses futures per a una millor qualitat de vida, per una vida més sostenible i respectuosa amb el medi.

En aquest projecte es pretén comparar els principals mètodes de gestió de residus verd i l'eficiència de les tecnologies emprades.

Les tecnologies a estudiar són les següents:

- a) Planta de compostatge: mètode de transformació del residu verd en compost nutritiu útil per les plantes.
- b) Caldera de biomassa: mètode d'obtenció d'energia calorífica a partir de la crema de restes vegetals.
- c) Biocarbó: mètode de transformació de restes vegetals en carbó vegetal.
- d) Abocador: mètode de trituració de les restes vegetals.

3. MARC TEÒRIC

En aquest apartat donem a conèixer les alternatives estudiades, tecnologies que actualment s'utilitzen per gestionar les restes vegetals, i obtenir-ne un producte com pot ser l'obtenció de biocarbó, de compost o de pèl·lets per calderes de biomassa. També s'ha estudiat la gestió que es fa a l'abocador de Puigpalter (Porqueres) amb l'entrada del residu verd.

Cada tecnologia estudiada al detall consta d'una part introductòria i una fase d'anàlisi, on s'estableixen els paràmetres a tenir en compte alhora d'establir possibles comparacions.

3.1 Biocarbó

El biocarbó és una forma estable de carbó produït a partir d'escalfar materials orgànics naturals (cultius i altres residus, estelles de fusta, branques, fems) a una alta temperatura, sota un procés conegut com piròlisi (en absència d'oxigen).

A causa de la seva estructura molecular, **el biocarbó és química i biològicament més estable que la forma original de carboni, per tant és més difícil de trencar. Això significa que en alguns casos pot romandre estable al sòl com a fertilitzant durant centenars o milers d'anys.**

La producció de biocarbó a través de piròlisi també produeix bioenergia en forma de gas de síntesi (o "biogàs"). El gas de síntesi consisteix en una varietat de gasos (principalment CH_4) que al seu torn poden ser capturats i utilitzats per produir calor i energia (Krull, 2009).

Quan els materials orgànics són sotmesos a piròlisi, es produeix biocarbó i biocombustibles que tenen múltiples aplicacions, com la producció d'energia i calor entre d'altres (Figura 3.1).

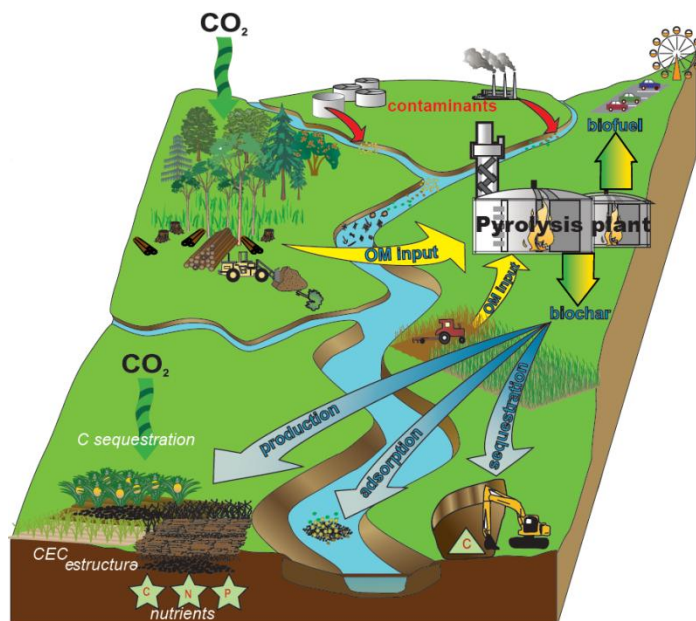


Figura 3.1: Cicle de vida del biocarbó.

Font: Krull, 2009.

3.1.1 Descripció del procés que es duu a terme en l'obtenció de biocarbó

La formació del biocarbó s'obté mitjançant una piròlisi. Per tant consta d'un recipient tancat amb restes forestals que s'escalfa per l'exterior i augmenta de temperatura (400°C) fins a evaporar l'aigua continguda en les restes forestals. Quan l'aigua s'ha evaporat i els nivells d'O₂ són mínims, dins el recipient es comença a formar metà (CH₄) i aquest és reconduït cap a l'exterior pel seu aprofitament calorífic, també s'allibera una part de CO₂. Mentre que la resta de carboni queda fixat en el carbó. Un cop refredat, s'obté el biocarbó.

En el següent diagrama s'observa l'obtenció de biocarbó i biogàs produït amb una piròlisi. Aproximadament el 50% de la biomassa pirolitzada es converteix en biocarbó i pot ser retornada al sòl. (Figura 3.2).

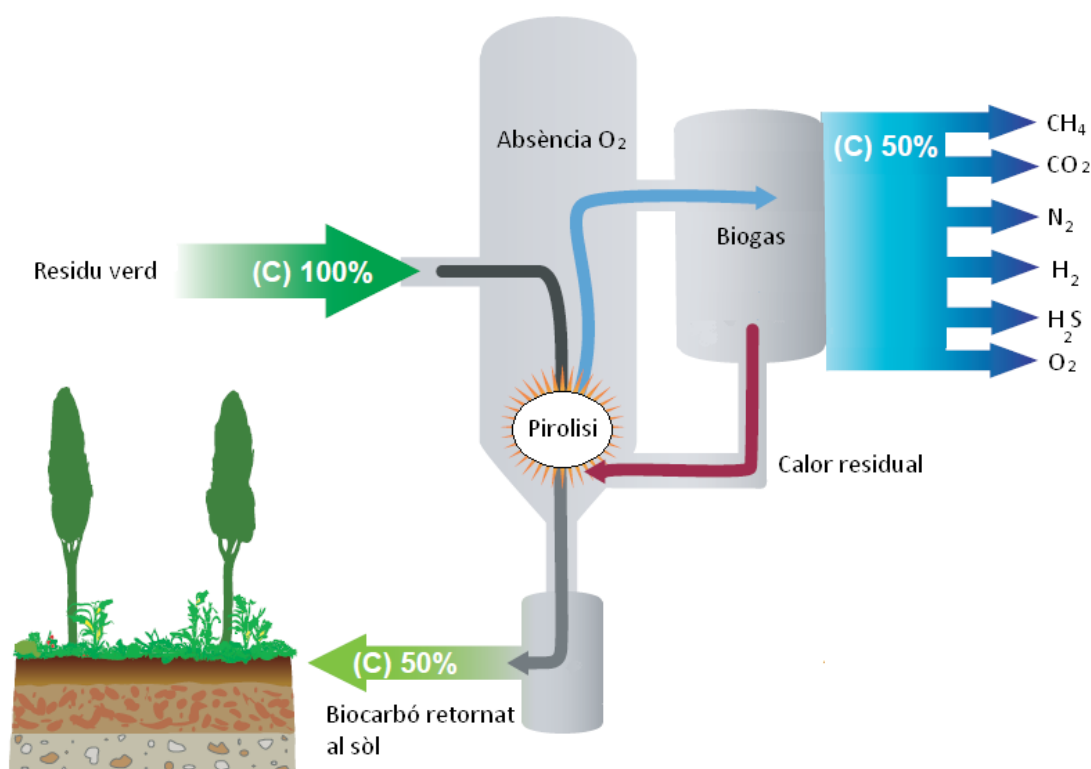


Figura 3.2: Diagrama del biocarbó i biogàs amb el segrest de carbó vegetal.

Font: Lehman et al., 2007.

3.1.2 Beneficis i inconvenients

L'addició de biocarbó per a l'agricultura en els sòls està rebent atenció degut als beneficis que comporten a la qualitat del sòl i els rendiments dels cultius, així com el potencial de guanyar crèdits de carboni pel segrest de carboni actiu.

Alguns estudis han demostrat que el biocarbó pot ajudar a:

- Augment de nutrients i de la retenció de cations amb capacitat d'intercanvi. El biocarbó és un material molt porós, això permet la retenció dels nutrients i que aquests estiguin disponibles pels organismes vius.

- Disminució de l'acidesa del sòl. L'addició de biocarbó al sòl fa que el pH augmenti i afavoreixi el bon desenvolupament de les comunitats del sòl.
- Millorar l'estructura del sòl. Permet que el sòl sigui més estable davant possibles impactes.
- L'eficiència d'ús dels nutrients. El biocarbó reté els nutrients i el fa disponible pels organismes del sòl, afavorint el seu desenvolupament.
- Capacitat de retenir aigua. Al ser un material molt porós l'aigua queda retinguda entre els porus i en èpoques de dèficit hídric conté la humitat necessària pels organismes vius del sòl.
- Disminució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle CO_2 i altres (CH_4 , òxids de N_2). En el procés de l'obtenció de biocarbó, descrit anteriorment, al produir-se en absència d'oxigen, pràcticament no permet l'alliberació de CO_2 ni d'òxids de N_2 a l'atmosfera.

Es pot dir que s'obté un procés negatiu de carboni, és a dir, que de tot el carboni (C) contingut en el residu verd, només una part s'allibera a l'atmosfera en forma de CO_2 i l'altre part es reté al sòl com a biocarbó.

No obstant això, encara que algunes d'aquestes funcions poden conduir directament o indirectament a augmentar la producció en alguns sòls, els beneficis del biocarbó no són universals. De fet, el biocarbó pot tenir efectes adversos en el creixement de les plantes, i no tots els sòls responen de la mateixa manera a les addicions de biocarbó. És a dir, els estudis que han demostrat efectes positius pel que fa a la producció en cultius molt degradats i sòls pobres en nutrients, mentre que aplicació de biocarbó per a sòls fèrtils i sòls estables no sempre produeix un canvi positiu (Krull, 2009).



Figura 3.3: Caldera de biocarbó.

Font: SolucioNAT.

3.2 Planta de compostatge

El compost és el producte resultant de la descomposició aeròbia de la matèria orgànica mitjançant el procés de compostatge. És un producte orgànic, higienitzat i parcialment estabilitzat, de color fosc i olor a terra, que pot resultar beneficiós per al sòl i/o el desenvolupament de les plantes.

Es tracta de material orgànic procedent de diverses fonts com els fems, residus de cultius, fullaraca de boscos i material llenyós, residus de podes i jardins (Del Val, 1997).

Requisits per un bon compostatge:

- S'ha de trobar a temperatura ambient, la qual cosa indica que el procés de fermentació ha finalitzat i el producte és química i físicament estable.
- No ha de contenir impureses tals com vidres, plàstics, pedres i altres materials no orgànics. Tampoc ha de contenir restes orgàniques de grans dimensions com ossos o branques.
- Ha d'estar net de llavors i males herbes.
- No ha de contenir organismes patògens, ja que aquests s'eliminen en el procés de descomposició, durant el qual s'arriba a temperatures elevades, superiors als 60°C.
- No ha de fer mala olor.
- Part important de la seva matèria orgànica ha d'estar estabilitzada, és a dir, ha de ser de lenta biodegradació.
- El contingut de metalls pesants ha de ser inferior al límit establert per a tal ús (Reial Decret 824/2005, de fertilitzants).
- Si el seu destí és el sòl, ha d'estar el màxim lliure de possibles components inapropiats i contaminants; també ha de tenir un bon nivell de nutrients per les plantes.

Què és una planta de compostatge?

Instal·lació on s'efectua el reciclatge dels residus orgànics (fracció vegetal) mitjançant un procés de compostatge (Figura 3.3).

Per tal d'obtenir un bon compost és necessària l'aportació de fracció llenyosa, no només per la funció estructural sinó també per aportar nutrients els quals no es troben en el residu orgànic. La fracció vegetal és la que millor compleix aquests requisits, ja que a més d'una relació C/N alta, la seva diversitat de fibres facilita l'absorció d'humitat i olors, assegurant una millor qualitat del compost final.



Figura 3.4: Imatge de planta de compostatge.

Font: Gencat.

3.2.1. Descripció del procés que es duu a terme a la planta de compostatge

Procés efectuat en una planta de compostatge (Figura 3.4):

El material que arriba es descarrega al moll de descàrrega (1) de la nau de procés i es separen manualment (3) els impropis més voluminosos. Seguidament, es realitza la mescla amb fracció vegetal amb una relació 2 a 1, o sigui, el doble de volum matèria orgànica dels residus municipals (FORM) que fracció vegetal (4).

A la sortida de la mescladora (5), on es barreja la fracció orgànica i la fracció vegetal, es realitza una inspecció visual per a comprovar-ne la porositat, i s'introdueix dins el túnel de compostatge amb la pala carregadora. Dins aquest recinte hermètic es realitza una fermentació intensiva durant 14 dies, que donarà lloc al compostatge primari.

La fracció d'aire no recirculada dels túnels es condueix cap al rentador de gasos per netejar-lo. Una vegada net, aquest aire es dirigeix cap als biofiltres biològics, finalitzant el tractament d'aire i evitant la propagació de males olors als exteriors de la planta.

Una vegada transcorreguts els 14 dies de túnel, el compost primari es garbella per a separar la fracció vegetal (que serà reutilitzada) de la fracció fina del compost. Aquesta fracció fina es col·loca mitjançant piles a la zona ventilada de maduració, on s'oxigena i s'hi aporta aigua per avançar el procés de descomposició, durant 4 setmanes (6 i 7).

Quan el procés de maduració ha finalitzat, escriba tot el material mitjançant un trommel (2) de 10 mm i es passa per una aspirador de plàstics. Seguidament, el compost es passa per la taula densimètrica (9) per a retirar petits impropis (pedretes, vidres...) i es col·loca a la zona d'emmagatzematge per a gestionar-ne la sortida (10).

La planta de compostatge té una zona per la recollida dels lixiviats i les aigües de pluja (8) (Arimany, 2011).

Què li succeeix al material:

Degradació

L'evolució de la temperatura durant el procés de la degradació es fa en tres fases:

- La temperatura puja ràpidament a 40 °C per la respiració dels microorganismes mesòfils aerobis. Primer es consumeixen els compostos més degradables com són els sucres i els midons.
- La respiració fa pujar progressivament la temperatura fins els 60-70 °C i els organismes termòfils desplacen els mesòfils i els termotolerants.
- Amb la seva respiració, els microorganismes treuen l'oxigen de la massa en compostatge i fan el medi anaerobi. Aleshores els organismes anaerobis es desenvolupen i fan baixar la temperatura. Són responsables de l'alliberament de compostos volàtils que fan pudor com el metà, amoníac, el sulfur d'hidrogen i altres.

Per evitar aquesta putrefacció, cal restaurar les condicions aeròbies del medi (mitjançant l'aeració). Així serà possible perllongar la fermentació a alta temperatura. Els patògens,

paràsits i les llavors de males herbes seran destruïdes per les altes temperatures. Quan després d'airejar, la temperatura no augmenta més, es pot considerar que la fase de degradació ja ha acabat.

Maduració

En aquest moment, la quantitat de matèria fàcilment utilitzable per la microflora es rarifica i la biosíntesi de compostos húmics esdevé predominant. És a dir, es condueix a la biosíntesi de compost húmics per part dels fongs a temperatures més baixes.

Cal tenir en compte que hi ha residus que per si sols tenen una elevada o baixa capacitat de degradar-se, fet que farà variar el procés de degradació.

De baixa degradació hi trobem la fracció vegetal (restes forestals, escorça..) i altres com la palla o rapa de raïm. Els d'alta degradació són residus estabilitzats (fems i fangs) o sense estabilitzar (gallinassa, restes de verdura...) (Taula 3.1).

Taula 3.1: Materials compostables classificats segons la seva degradabilitat.

MATERIALS	EXEMPLES
Residus de Baixa Degradabilitat	
Fracció vegetal	Fusta de poda amb menys d'un 30% en volum de gespa. Restes forestals. Palets de fusta natural. Caixes de verdura. Escorça.
Altres RDB (*)	Marro. Fang de paperera. Palla i Panotxes. Rapa de raïm. Serradures/flocs.
Residus d'Alta Degradabilitat	
Pre-estabilitzats	Fangs d'EDAR de digestió anaeròbia. Fangs d'EDAR de digestió anaeròbia. Fangs d'EDAR d'oxidació perllongada. Digestats resultants de la digestió anaeròbia de FORM. Composts frescos. Fems vells.
No pre-estabilitzats	FORM. Restes de verdures. Altres fangs d'EDAR no considerats anteriorment. Fangs d'indústria alimentària. Fangs d'escorxador. Fems frescos i Gallinassa. Fusta de poda amb més d'un 30% en volum de gespa. Gespa.

(*) Residus de Baixa Degradabilitat.

Font: Agència de Residus de Catalunya.

S'han pogut consultar les dades de la planta de compostatge d'Olot sobre la composició del compost durant l'any 2011 (Taula 3.2).

Per cada tona de fang de depuradora tractat s'hi barregen 4 tones de fracció vegetal; i per cada tona de FORM tractat s'hi barregen 2 tones de fracció vegetal.

Per tant tal i com s'observa a la taula al ser una relació de barreja 4:2 pel que fa la fracció vegetal a fang i FORM, trobem més tones de fracció vegetal per fangs que per FORM.

Això comporta com a resultat que la mitjana de compost de fang produït sigui de 204 tones mensuals i la de compost de FORM produït sigui de 126 tones. Fet que si es mira la quantitat sola de FORM i de fang (abans de la barreja amb la fracció vegetal) es pot observar que hi ha més quantitat de FORM que de fang, 709 i 675 com a mitjana de tones mensuals respectivament.

Es pot dir que hi ha una elevada utilització de fracció vegetal, tot i que cal apuntar que la fracció vegetal (palets de fusta trinxats) de cada mes sempre es reutilitza al mes següent.

Taula 3.2: Composició compost de la planta de compostatge d'Olot.

MES (2011)	FANG EDAR's	FORM	FRACCIÓ VEGETAL PER FANGS	FRACCIÓ VEGETAL PER FORM	COMPOST FANG PRODUÏT	COMPOST FORM PRODUÏT
Gener	648	476	2.595	953	225	110
Febrer	642	536	2.569	1.072	188	120
Març	783	664	3.135	1.328	284	68
Abril	689	688	2.758	1.376	227	49
Maig	592	810	2.368	1.620	194	221
Juny	700	835	2.800	1.670	174	116
Juliol	673	782	2.694	1.565	178	116
Agost	727	920	2.911	1.840	231	134
Setembre	669	816	2.678	1.633	185	175
Octubre	556	668	2.226	1.336	190	145
Novembre	772	697	3.088	1.394	180	160
Desembre	653	615	2.615	1.231	182	102
TOTAL	8.110	8.512			2.443	1.523
MITJANA	675	709			204	126

**Les dades expressades en tones.*

Font: Arimany, 2011.

Característiques i aplicacions de l'ús del compost.

Les característiques físiques, químiques i biològiques del compost permeten que aquest producte pugui ser utilitzat en diversos àmbits i activitats obtenint resultats molt positius:

QUÍMIQUES

- Conté macronutrients (N, P, K) i micronutrients en forma de complexos químics que faciliten que siguin assimilats per les plantes.
- Millora la capacitat d'intercanvi catiònic evitant la lixiviació.

- Té pH neutre. Regula el pH, augmentant el poder tampó.

FÍSIQUES

- Augmenta la capacitat de retenció hídrica, de manera que cal regar amb menys freqüència i alhora facilita el drenatge, aconseguint sòls menys entollats. És a dir, fa més permeables els sòls argilosos i més absorbents els sorrencs.
- Augmenta la porositat obtenint sòls més esponjosos que permeten el flux d'aire i oxigen.
- Augmenta la capacitat calorífica, reduint les oscil·lacions tèrmiques.

BIOLÒGIQUES

- Regula i afavoreix l'activitat dels microorganismes que són beneficiosos per les plantes.
- Afavoreix la germinació de les llavors.
- Millora la nutrició mineral i proporciona substàncies amb propietats fisiològiques per les plantes.

La utilització del compost com a adob en l'agricultura té un gran interès, ja que la presència d'aquest producte al sòl en proporcions adequades és fonamental per tal **d'assegurar la fertilitat i evitar la desertització**. A més el compost té una sèrie de propietats que produeixen uns efectes en el desenvolupament de les plantes molt favorable.

- Com a adob natural en agricultura extensiva i ecològica (cereals, horta, fructicultura, vinya, ...).
- Com a fertilitzant en tasques de jardineria, tan pública com privada i en la formulació de substrats.
- Com a restauració de sòls degradats en projectes d'obra pública (clausura d'abocadors, regeneració de talussos, ...) o en restauració d'activitats extractives.
- En aquest apartat es donaran algunes orientacions sobre la quantitat i forma d'aplicació del compost en alguns d'aquests àmbits. Aspectes com el tipus de sòl, les condicions climàtiques de la zona o les espècies de plantes o conreus receptors, poden fer variar lleugerament aquestes recomanacions.

En la majoria de casos la quantitat d'aplicació s'expressa en Kg compost/ m² de sòl. Cal tenir en compte que és un valor estimatiu ja que dependrà entre altres de la humitat del compost, de si aquest s'ha garbellat, etc.

3.2.2 Beneficis i inconvenients

Avantatges que destaquen:

- Redueix la càrrega contaminant als abocadors.
- La producció del compost és pot utilitzar per l'agricultura i així estalviar recursos, fixar els fertilitzants químics i retenir una major quantitat d'aigua.
- Augmenta la població microbiana del sòl, és a dir, major fertilitat.
- Possibilitat d'abaratiment del cost del tractament per la comercialització del compost i CH₄.

Inconvenients que destaquen:

- Pot tenir situacions d'anòxia amb generació de compostos reduïts mal olorosos.
- Generació de lixiviats, fet que contamina les aigües superficials i subterrànies.
- Transformació desigual dels materials.
- Inversió i manteniment força elevat.
- Possibilitat d'incendis en materials acumulats a la planta durant un llarg període de temps.
- La planta de compostatge ocupa grans superfícies.

3.3 Abocador

És un espai obert a on es disposen els residus (figura 3.5). Aquestes deixalles junt amb la pluja que hi cau produeixen: **residus mineralitzats** (sòlids), **lixiviats** (líquids) i **gasos**.

S'utilitzen els denominats abocadors controlats, situats en terrenys adequats, on es disposen de forma ordenada els residus sota condicions segures i supervisades que eviten els problemes de contaminació d'aigua, aire i sòl.

3.3.1 Descripció del procés que es duu a terme a un abocador

Un dipòsit controlat segueix els següent passos:

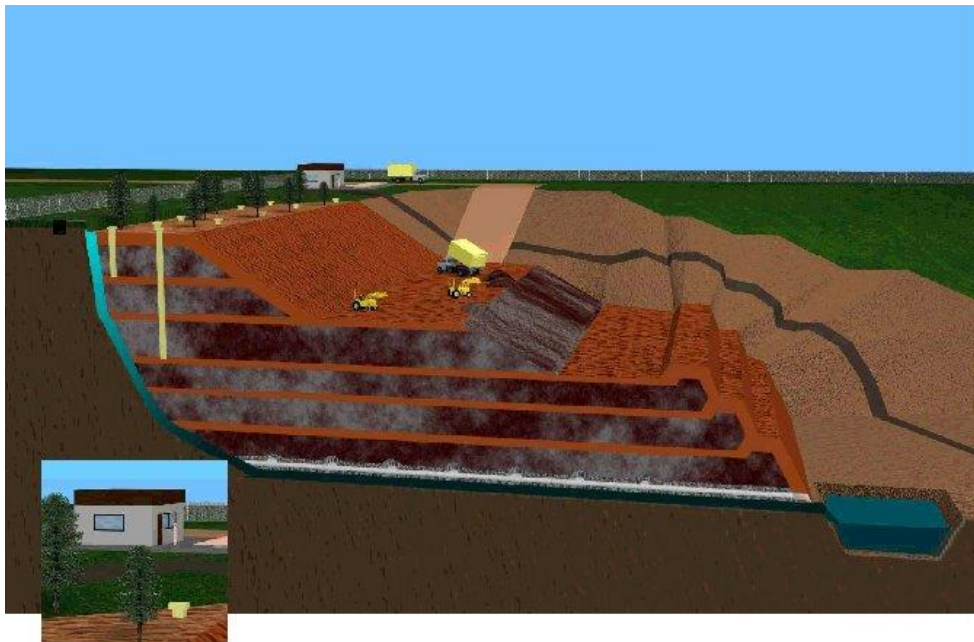


Figura 3.5: Abocador controlat.

Font: Gencat.

- Neteja: eliminació de tots aquells impediments que obstaculitzen el pas de màquines i equips (matolls, arbres, murs, etc.).
- Adequació: preparació del terreny per donar-li la geometria desitjada i preparació de la superfície per impermeabilitzar-la .

- Bàscula: necessària per conèixer de forma precisa els residus que aporten a l'abocador cada un dels municipis a fi de poder repartir els costos.
- Xarxa de desviació pluvial: les aigües de vessament superficials no poden ni han d'entrar a l'àrea d'abocament, ja que a l'únic que portaria és a augmentar la producció de lixiviats, per això, han de ser desviades mitjançant la construcció de canals oberts situats a la zona més elevada i envoltant tota l'àrea d'abocament.
- Sistema de recollida i tractament de lixiviats i gasos (biogàs): sobre la superfície preparada de cada vas d'abocament i abans de dipositar els residus s'ha de disposar una capa de drenatge que reculli els lixiviats i els canalitzi, mitjançant una xarxa de canonades.

3.3.2 Beneficis i inconvenients

Els **avantatges** d'aquest mètode d'eliminació són principalment:

- Costos reduïts.
- Impacte ambiental menor si es controla i gestiona de forma adequada. A més de que és l'última opció, per a aquells residus que no poden ser utilitzats, reciclats, ni valoritzats d'una altra manera, així com per als rebuigs dels sistemes de tractament (compostatge i incineració). Emissions de biogàs (CH₄ i CO₂, bàsicament).

Entre els **inconvenients** destaquen:

- Pols i olors.
- Filtració de lixiviats de sals, metalls pesants, compostos orgànics persistents i biodegradables en aigües subterrànies o rius.
- Acumulació de substàncies perilloses a terra.
- Ocupació del sòl.
- Possible contaminació i acumulació de substàncies en la cadena tròfica.
- Emissió de sorolls.
- Proliferaió de la fauna associada a aquest tipus de llocs (rosegadors, insectes, gavines entre altres.)
- Dispersió de residus i pols.
- Escorriment de terres de residus inestables.
- Dany a la salut humana i la flora i fauna dels voltants.

3.4 Planta de Biomassa

Conjunt de tota la matèria orgànica d'origen vegetal o animal. És proporcionada per una gran diversitat de productes, entre els quals s'inclouen els forestals (llenya, fusta o rebuigs de fusta).

L'energia que es pot obtenir de la biomassa prové de la llum solar, la qual, gràcies al procés de fotosíntesi, és aprofitada per les plantes verdes i transformada en energia que queda acumulada a l'interior de les seves cèl·lules (Figura 3.6).

Els diferents productes que es consideren dins del terme genèric de biomassa poden ser de tipus forestal, agrícola, del sector ramader i agroalimentari o bé biomassa del tipus residual (Figura 3.6):

- La biomassa d'origen forestal inclou tots els productes i residus que provenen dels treballs de manteniment i millora de les masses forestals i de les tallades de peus fusters per a ús comercial i els subproductes generats per les indústries de transformació de la fusta (serradures, escorces, estelles, encenalls, etc). Com indica la Figura 3.6.

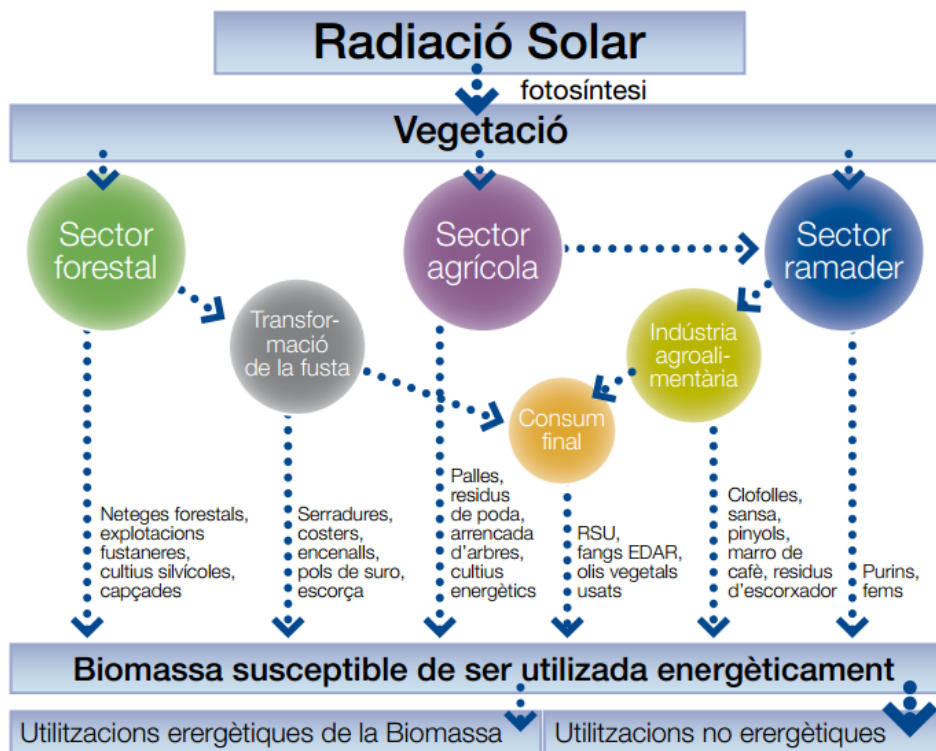


Figura 3.6: Sectors potencials dels quals es pot extreure biomassa.

Font: Gencat.

Que és una caldera de biomassa?

Són aquelles que utilitzen combustibles naturals provinents de fons renovables per al seu funcionament. Els **pèl·lets** de fusta procedents de residus forestal o dels excedents de indústries de fusta, pinyols d'oliva, closques de fruits secs, llenya... són les fonts d'energia natural utilitzades a les calderes de biomassa.

El **biocombustible** del que s'alimenten aquestes calderes resulta més econòmic que els combustibles tradicionals (gasol, propà...) sent el seu preu, a més a més, més estable a llarg temps ja que no depèn dels preus que fixen altres països.

El seu alt poder calorífic per unitat de pes (fins a 4.200 kcal/kg) fa del biocombustible una forma d'energia rentable i renovable i aporta a la caldera de biomassa uns rendiments calorífic del 95%.

3.4.1 Funcionament d'una planta de biomassa: caldera de pèl·lets

Únicament s'alimenten de combustibles uniformes com pèl·lets o pinyols d'oliva; s'absorbeixen a la caldera mitjançant succió. Són comuns per potències mitjanes (ús domèstic) (Figura 3.7).

El procés bàsic de producció de pèl·lets comprèn les següents etapes:

- Assecat: procés per assecar serradures humides. Aquest procés pot representar una elevada despesa econòmica degut a l'energia necessària.
- Granulat / Refinat: triturar la matèria primera fins a obtenir una mida adequada per al calibre del pèl·let final. La mida recomanada de la matèria primera a granular sol ser de 20 x 40 x 3 mm.
- Pel·letitzat: la temperatura del material de fusta triturat a la màquina pel·letitzadora augmenta, i el material natural aglutinant, la lignina, es fon.
- Refredat: després de la pel·letització, la temperatura dels pèl·lets és alta (al voltant de 90 ° C). El refredat estabilitza als pèl·lets i endureix la lignina fosa.
- Tamisat i classificat: tamisat de la pols de la matèria primera, barreja dels pèl·lets, és separada i recirculada al procés de pel·letitzat.



Figura 3.7: Caldera de pèl·lets.

Font: Decoestilo.

Producció pèl·lets

El pèl·let (Figura 3.8) és un tipus de combustible granulat a base de fusta. Es fabriquen mitjançant premsat, i la pròpia lignina fa d'aglomerant. Es tracta d'una manera eficient d'aprofitar l'energia de la biomassa, ja que d'aquesta manera s'augmenta considerablement la densitat energètica d'aquesta.

A causa de la forma cilíndrica i llisa i la petita mida, el pèl·let tendeix a portar-se com un fluid, fet que facilita el moviment del combustible i la càrrega automàtica de les calderes.

Per a la seva fabricació s'utilitzen restes de podes, tales o fusteries (de manera que no es necessita talar arbres).



Figura 3.8: Pèl·let.

Font: Decoestilo.

3.4.2 Beneficis i inconvenients

La utilització de la biomassa amb finalitats energètiques té les següents **avantatges** mediambientals:

- Disminució de les emissions de CO₂.
- Si s'utilitzen residus d'altres activitats com biomassa, això es tradueix en un reciclatge i disminució de residus. Canalitza, per tant, els excedents agrícoles alimentaris.
- Els cultius energètics substituiran cultius excedentaris en el mercat d'aliments. Això pot oferir una nova oportunitat al sector agrícola.
- No pot explotar.
- Permet la introducció de cultius de gran valor rotacional front a monocultius cerealistes.
- Pot provocar un augment econòmic en el medi rural.
- Disminueix la dependència externa del proveïment de combustibles, per tant en redueix els costos i la fa més econòmica.

- Les calderes de biomassa estan subjectes a subvencions per part del govern i les comunitats.

Per altra banda també s'hi ha trobat una sèrie d'**inconvenients**:

- Té un major cost de producció davant de l'energia que prové dels combustibles fòssils.
- Menor rendiment energètic dels combustibles derivats de la biomassa en comparació amb els combustibles fòssils.
- Producció estacional.
- La matèria primera és de baixa densitat energètica, vol dir que ocupa molt volum i per tant pot tenir problemes de transport i emmagatzematge.
- Necessitat de condicionament o transformació per a la seva utilització.
- Elevats costos d'extracció i recollida d'aquesta biomassa, com a conseqüència, de la poca mecanització de les explotacions forestals i de la manca de mà d'obra especialitzada.
- La complexa estructura de la propietat forestal a Catalunya, amb un elevat nombre de propietaris privats, la major part dels quals ho són de finques petites, dificulta d'associacionisme.
- Tot això dificulta que es pugui garantir el subministrament de biomassa forestal per a grans consumidors, com per exemple, una planta de generació elèctrica, tant pel que fa a la quantitat com a la qualitat.
- Els elevats costos d'inversió, funcionament i manteniment de les instal·lacions de valoració energètica de biomassa forestal i agrícola contribueixen a que, per a superar aquests costos fixos, calgui que els projectes assoleixin un volum mínim i requereixin una quantitat mínima de biomassa a un preu adequat per a garantir la viabilitat de l'explotació.
- Per causa del seu alt contingut en residus inutilitzables (15%-90%), el transport d'aquesta energia és car i ineficient econòmicament.
- L'ús de l'energia emmagatzemada a la biomassa serà renovable sempre que replanem arbres i plantes en la mateixa proporció dels que utilitzem. D'aquesta manera, a més, no alterarem la quantitat neta de CO₂ existent a l'atmosfera.

4. MATERIALS I MÈTODES

4.1 Materials

4.1.1 Caldera de biocarbó

Per l'elaboració d'aquest projecte, la nostra empresa, Ipsum s'ha associat amb el "Projecte Biochar", projecte experimental subvencionat per la diputació de Girona i la obra social de "La Caixa", de l'empresa SolucioNAT, el qual pretén investigar els beneficis del biocarbó a escala local mitjançant una caldera de biocarbó.

En un primer moment aquesta caldera (figura 4.1) estava formada per:

- **Cilindre intern:** (Figura 4.2) en el qual s'introdueixen les restes de poda i forestals que esdevindran biocarbó.
Té una capacitat d'aproximadament 1.000 kg de matèria vegetal, que variarà depenent de les característiques de la poda.
- **Cremador:** es troba sota el cilindre i s'hi col·loca el combustible, tant forestal com gasos.
- **3 xemeneies:** per on s'expulsen els gasos generats tant a l'interior del cilindre com al cremador.
- **Termòmetre:** instal·lat en una de les portes del cilindre dona la temperatura de l'interior (Figura 4.2).

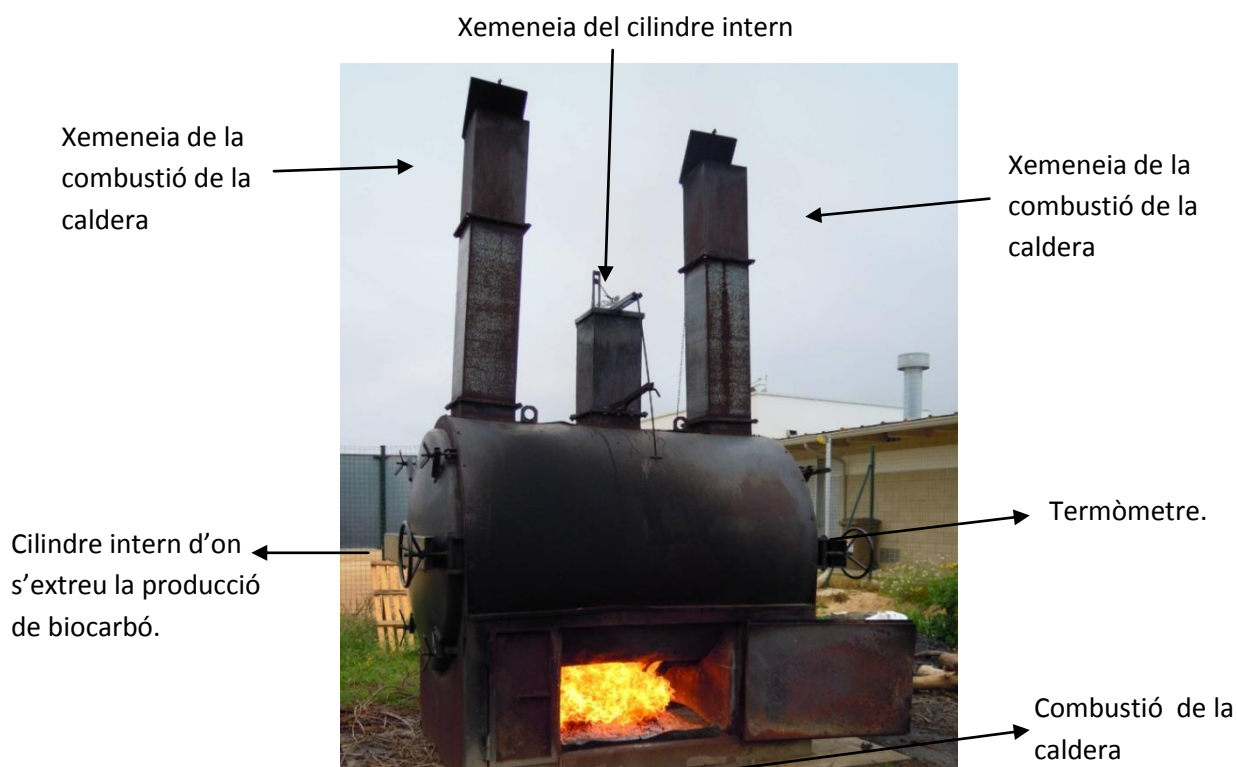


Figura 4.1: Caldera de biocarbó.
Font pròpia.



Figura 4.2: Cilindre intern de la caldera de biocarbó i termòmetre.
Font pròpia.

Després d'analitzar els primers paràmetres, temperatura i diferència de pes, es va veure que no es podria mesurar el cabal de biogàs (Figura 4.3) si no es dissenyava alguna millora que ho permetés. Per aquesta raó es va idear un sistema de recirculació externa del biogàs, per així poder obtenir les dades previstes per aquest estudi. La màquina finalment va quedar modificada en relació a la idea principal (Figura 4.3).



Figura 4.3: Tub de recirculació.
Font pròpia.

4.1.2 Aparell mesurador i analitzador de gasos i temperatura de calderes i combustions.

Per poder fer els anàlisis de gasos necessaris es va utilitzar un analitzador electrònic de combustions BRIGON 500-1, utilitzat normalment pels tècnics de calderes (Figura 4.4). Aquest mesurador ha permès calcular les concentracions de CO, CO₂, O₂ i la temperatura.



Figura 4.4: Mesuradora de gasos i temperatura. Brigon 500-1
Font pròpia.

BRIGON 500-1 consta de 3 eines diferents:

- Analitzador de gasos de combustió.
- Els cables de connexió amb la sonda
- Impressora de dades de l'analitzador.

A la Taula 4.1 es mostren les especificacions tècniques d'aquest analitzador.

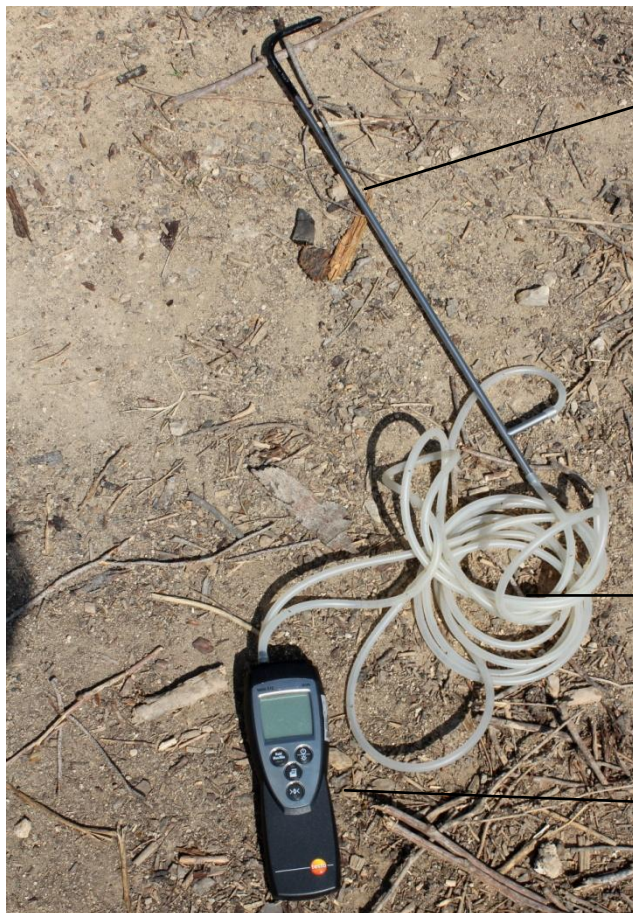
Taula 4.1 Especificacions tècniques de la Brigon 500-1.

PARAMETRE	RANG	RESOLUCIÓ
Mesura de temperatura		
Temperatura amb sonda externa.	0-600°C	0,1°C
Mesura de gasos (gasos secs en condicions normals)		
Oxigen (O ₂)	0-1% Volum	0,1% Volum
Monòxid de Carboni (CO)	0-4000 ppm	1ppm
Valors calculats		
Diòxid de carboni (CO ₂)	0-30%	0,1%

Font: Brigon.

4.1.3 Mesurador de Cabals de gasos. Tub de Prandtl.

En aquest estudi ha estat necessari el càlcul del cabal de biogàs. Per poder obtenir aquestes dades s'ha utilitzat el Tub de Prandtl (Figura 4.5).



Tub de Prandtl. Aquest tub permet el càlcul dels cabals mitjançant el càlcul de les diferències de pressió.

2 Tubs de entrada i sortida entre el tub de Prandtl i el analitzador de pressions.

Analitzador de pressions (HPa).

Figura 4.5: Mesurador de cabals de gasos i tub de Prandtl.
Font pròpia.

4.2 Mètodes

4.2.1 Càlculs fets per trobar el cabal de biogàs mitjançant el tub de Prandtl.

El tub de Prandtl també és conegut amb el nom de tub Pitot estàtic, ja que és la combinació de 2 instruments, un tub de Pitot (calcula la pressió total, P_t) i un tub piezomètric (calcula la pressió estàtica, P_s).

Aquest aparell mesura la diferència de les dues pressions anteriors, o sigui mesura la pressió dinàmica ($P_t - P_s$). Amb aquest diferència de pressions podem calcular la velocitat mitjançant la següent formula:

$$P_t - P_s = \frac{1}{2} \rho V^2$$

On, ρ és la densitat del fluid o del gas, V és la velocitat amb la que passa el fluid o el gas per la secció, P_t és la pressió total i P_s la pressió estàtica.

Aïllem la velocitat;

$$V = \sqrt{2 \frac{P_t - P_s}{\rho}}$$

Aquesta formula és coneguda com la formula de Pitot. Amb aquesta velocitat es podrà calcular el cabal.

$$Q = VA$$

On Q és el cabal del gas i A és l'àrea transversal ($53,6 \text{ cm}^2$) de la conducció del fluid.

4.2.2 Conversió de dades de la taula 6.1

Per generar la taula 6.3 (pàgina 68) s'han modificat algunes unitats de mesura per poder obtenir un resultat igualitari i demostratiu a cada balanç i per a totes les tecnologies. S'ha intentat precisar al màxim aquests valors per poder fer factible la interpretació dels anàlisis fets.

Unitats d'energia: Per l'energia obtinguda durant el procés de tractament del residu verd, les dades del balanç energètic es donen en kWh/m^3 . Dades equivalents al PCI.

Pel que fa el biogàs, per cada m^3 de biogàs que conté un 65% de CH_4 és l'equivalent a 6,15 kWh. Ara bé, després de convertir-se en electricitat es perden entre un 85% a un 70% en eficiència del generador (fricció, calor, etc.), obtenint de 1 a 2 kWh per a cada m^3 de biogàs. Amb aquesta energia s'estima que 2 kWh són suficients per encendre una bombeta de 100 watts durant 20 hores.

$$\text{MJ, Mega Jouls} \quad 3,6 \text{ MJ} \rightarrow 1 \text{ kWh/m}^3$$

4.2.3 Quantificació de l'eficiència de les tecnologies pels tractaments de residu verd

Una metodologia per tal de dur a terme la diagnosi ambiental, és la confecció d'indicadors d'eficiència, elaborats a partir dels factors que es consideren rellevants en l'elaboració d'un projecte.

En aquest projecte es quantifiquen 4 indicadors d'eficiència, de 4 tecnologies de tractament del residu verd.

Els indicadors considerats per aquest estudi són:

Balanç energètic : En la situació actual que ens trobem, les tecnologies han de ser el màxim rendibles en els seus processos de producció, tenint en compte aquest fet s'ha estudiat el poder calorífic de cada tecnologia per així obtenir-ne el rendiment i l'aprofitament que se'n podria fer.

Balanç econòmic: Degut al context de crisi econòmica, les tecnologies han d'aconseguir costos de producció reduïts però al mateix temps eficients. Per això, s'han tingut en compte els costos de producció durant el procés i els guanys que se'n poden obtenir del producte final, i poder avaluar quina és la tecnologia econòmicament més rendible.

Balanç ambiental: L'augment de la temperatura de la terra degut als gasos d'efecte hivernacle ha fet que s'elaborés el protocol de Kyoto per intentar limitar les emissions dels gasos que provoquen aquest efecte. És per això que en aquest estudi s'han tingut en compte les emissions de CO₂, però també s'han estudiat les emissions generals de gasos que es desprenen durant els processos de cada tecnologia.

Balanç social: Per obtenir una bona qualitat de vida, la població s'estableix en ambients que li aportin un major benestar social. Degut a això, en l'estudi s'han tingut en compte les afectacions positives i negatives que percep i rep la societat en quan als diferents tipus de tecnologies.

El procediment seguit per a l'obtenció de valors d'indicadors d'eficiència de la Taula 6.4 (pàgina 69) ha estat aplicar les ponderacions dels balanços descrits segons l'eficiència de la tecnologia sobre el tractament del residu verd, i la seva posterior transformació a producte , tal com es detalla a la Taula 4.2.

Taula 4.2: Indicadors d'eficiència i ponderacions considerats per l'índex ambiental.

	Indicador	Ponderació
BEN	Balanç energètic	25%
BEC	Balanç econòmic	25%
BA	Balanç ambiental	35%
BS	Balanç social*	15%

* **Balanç social:** per aquest indicador s'ha establert un rang de valors, per les 3 variables determinades; Impacte visual, males olors i generació de llocs de treball.

Font pròpia.

S'ha establert que el nombre 3 determina que hi ha un impacte gairebé nul, o per la tecnologia que generi més de 10 llocs de treball. El valor 2 per un terme mig, o per les que generin de 4 a 10 llocs de treball i l'1 representa que l'impacte és màxim, o que generen menys de 4 llocs de feina, per les variables d'impacte visual, males olors i generació de llocs de treball.

Mitjançant l'equació s'ha obtingut un valor sobre un màxim de 100, que permetrà determinar la tecnologia més eficient, rendible i respectuosa amb el medi ambient.

$$\text{Indicador d'eficiència} = (0,25 * BEN - 0,25 * BEC + 0,35 * BA + 0,15 * BS) + 25$$

Pel càlcul de l'indicador d'eficiència, s'ha agafat el valor màxim de cada indicador i s'ha considerat que és 100, i la resta de valors sempre s'han calculat respecte aquest. Per tal que l'indicador d'eficiència sigui respecte 100, se li ha sumat 25 al resultat final.

L'elaboració de la Taula 4.3 mostra les categories d'eficiència a que correspon el valor final de l'indicador per a cada tecnologia.

Taula 4.3: Categoria d'eficiència segons els resultats dels indicadors d'eficiència

RANG	EFICIÈNCIA
<10	Negativa
10-30	Baixa
30-50	Moderada
>50	Positiva

Font pròpia.

4.3 Procediment experimental

Tal com s'ha explicat, la part analítica i pràctica del nostre projecte es basa en l'estudi "Projecte biochar" que s'ha fet conjuntament amb la empresa SolucioNAT.

Per dur a terme l'obtenció de dades, l'anàlisi de gasos, temperatures, pes, etc. es va procedir al treball de camp a la caldera de biocarbó, localitzada al municipi de Porqueres.

Un cicle de producció de biocarbó requereix unes 7 hores de feina (en les proves realitzades fins ara es requereixen al voltant de 20 hores perquè el biocarbó es refredi i pugui ser descarregat, i no és segur que es pugui completar més d'un cicle per dia).

- Càrrega del forn = 2 hores (si les restes vegetals estan acumulades adjacents al forn).

- Piròlisi = 4 hores.
- Descàrrega de la caldera i ensacat del biocarbó = 1 hora (Figura 4.6).

Un cop finalitzat el procés d'obtenció de biocarbó s'ha de deixar refredar unes 24 hores per tal d'evitar una combustió no desitjada en el moment d'obrir la caldera. Això passaria en el cas que el biocarbó amb una temperatura molt elevada entrés en contacte amb oxigen.



Figura 4.6: Descàrrega del forn i ensacat.

Font: SolucioNAT.

Per poder fer una extracció de dades amb validesa científica es varen fer 3 campanyes de recerca que exposarem a continuació.

4.3.2 Campanya 1

El dia 09/05/12 es va fer la primera campanya experimental. Va ser el punt inicial de la part analítica d'aquest projecte. En aquesta primera visita a la caldera de biocarbó, no només es van extreure dades numèriques, sinó que a més a més es van poder aplicar de manera pràctica tots els processos estudiats al llarg de la recerca d'informació.

Dades generals

Com a combustible per fer el foc que escalfa la caldera s'utilitza pi i diferents restes forestals de la recollida que fa el Consell Comarcal. Sempre que sigui possible s'utilitza material sec, així s'aconsegueix una bona combustió. El material que es vol transformar en biocarbó són restes de pollancre, morera i pi.

De les gairebé 60 cremes que s'havien fet fins a aquest dia, s'ha calculat que produeixen biocarbó amb una eficiència del 20%. Aquest valor d'eficiència es va extreure pesant la massa de biocarbó que s'obtenia al processar el residu verd a la caldera de biocarbó i posteriorment es comparava amb el pes en massa de les restes que inicialment es van introduir en la caldera de biocarbó, per exemple, de 440 kg de restes de poda que es van processar es van obtenir 90

kg de biocarbó.

Dades del biogàs

A partir de les 2 hores i 30 minuts aproximadament, la temperatura de la caldera és d'uns 280º, el residu verd queda totalment deshidratat i és el moment en el que comença a sortir el biogàs i per tant es tapa la xemeneia del mig per poder recircular-lo al cremador. Aquí és utilitzat com a combustible en la producció de biocarbó.

Aquesta caldera de biocarbó és un prototip que constantment s'està sotmetent a canvis i millores. Un dels principals problemes observats, és el material amb el que està construïda la caldera. Aquesta s'expandeix amb altes temperatures, fet que va produir que les comportes de la caldera perdessin precisió i deixessin de ser estanques, produint fuites dels gasos del cilindre intern en el moment de recirculació del biogàs (Figura 4.7).



Figura 4.7: Fuites de gasos.

Font pròpia.

Aquest problema impedeix mantenir la calor de la mateixa manera que si les comportes estiguessin ben segellades.

Després d'unes 2 hores i 30 minuts disminueix la temperatura en uns 10 ºC, que és just el moment en que es comença a formar el biogàs. De la xemeneia central surt fum de color groc i dens, i de les altres 2 xemeneies dels extrems surt fum negre. En aquest moment es podria dir que comença la segona fase, en la qual es recircula el biogàs, fent-ho servir de combustible per la producció de biocarbó. El termòmetre marca 320 ºC, es tanca la xemeneia central per poder aprofitar el biogàs (Figura 4.8 i 4.9). Ja no es torna a posar llenya al foc, només s'utilitza el biogàs.

Després de 4 hores la xemeneia assoleix els 500 °, per poder disminuir la temperatura de la caldera i no perdre eficiència de biocarbó, s'obren les comportes del cremador per poder disminuir la temperatura fins als 400 °C. S'ha de dir que les emissions de fums han disminuït durant aquesta fase del procés.



Figura 4.8: Primera fase. Crema de combustible.
Font pròpia.



Figura 4.9: Segona fase. Recirculació del biogàs.
Font pròpia.

4.3.2 Campanya 2

El dia 23/05/12, la caldera ja tenia instal·lat el tub per recircular el biogàs per poder mesurar-ne el cabal. Abans d'analitzar els gasos, es va observar que la xemeneia del mig, connectada amb l'interior i per la qual s'havia de mesurar el CO, CO₂ i O₂, era de difícil excés per realitzar-hi les mesures i es va optar per fer un forat amb un trepant, per on hi passaria la sonda de l'analitzador (Figura 4.10).



Figura 4.10: Foradament xemeneia.
Font pròpia.

Dades generals

En aquesta campanya es van utilitzar restes de poda (morera). Dies abans havia estat plovent, per tant aquestes restes no estaven del tot seques, i això va provocar que fins que no va marxar tot el vapor d'aigua que contenien no va començar a sortir el biogàs. Dels 360 kg inicials de poda es van obtenir 90 kg de biocarbó, és a dir, un 25% de rendiment. Cal dir que d'aquests 90 kg de biocarbó produïts no tots van quedar totalment carbonitzats.

Dades del biogàs.

Cada deu minuts es prenen mesures. Al minut 110 es va tancar la xemeneia per tal de recircular el biogàs al cremador. No obstant, el biogàs no es recirculava correctament ja que s'havia instal·lat un tub amb forats de diàmetre <0.5 cm dins el cremador per on havia de passar el biogàs i la pressió necessària perquè pogués passar era superior a la que la caldera podia suportar i el biogàs es perdia per les juntes i xemeneies. Això va provocar que al minut 160 el procés ens retornés a la primera fase, ja que el biogàs no cremava, i el poc que havia sortit ja s'havia perdut.

En aquesta campanya per tan, no es van obtenir dades de cabal de biogàs però sí l'evolució de la temperatura i els gasos emesos per la xemeneia.

4.3.3 Campanya 3

L'última campanya es va dur a terme el 23/05/12, i la seva finalitat era la de mesurar els cabals de biogàs mitjançant el Tub de Prandtl (Figura 4.12 i 4.13).

Per tal de no cometre els errors de campanyes anteriors es va realitzar una modificació a la caldera reduint el tub del cremador (Figura 4.11).



Figura 4.11: Caldera sense el tub cremador.
Font pròpia.

Dades generals

Per aquesta campanya es van utilitzar 609 kg de residu verd de pi blanc com a combustible per elevar la temperatura a la primera fase. Es van obtenir 140 kg de biocarbó que corresponen a un rendiment del 23%.

Dades del biogàs.

Mitjançant el tub recirculador de biogàs instal·lat (Figura 4.12) es van poder obtenir les dades del cabal utilitzant el mesurador de pressions de gasos i el tub de Prandtl. Es van fer mesures cada 10 minuts, però degut a les limitacions del mesurador de pressions (màxim 20 HPa) les 3 primeres dades no les vam poder enregistrar degut a que la pressió era superior a 20 HPa. Un cop va disminuir, es va poder prendre correctament totes les dades.

Durant aquesta campanya es van prendre totes les dades experimentals necessàries per dur a terme els anàlisis comparatius, temperatura, gasos de la xemeneia (CO , CO_2 i O_2) i cabal de biogàs.



Figura 4.12: Circuit de recirculació del biogàs.
Font pròpia.



Figura 4.13: Obtenció de les dades de cabal de biogàs.
Font pròpia.

5. RESULTATS DE LA FASE D'ANÀLISIS

5.1 Fase d'anàlisi

La fase d'anàlisi es un punt molt important a tenir en compte a l'hora de determinar la viabilitat de qualsevol tecnologia. Aquest anàlisi consisteix en una comparació de les eficiències i els balanços de les tecnologies. Permet quantificar conseqüències i impactes sobre el medi, i els recursos econòmics i ambientals.

5.1.1 Anàlisis del biocarbó

5.1.1.1 Balanç energètic

En el procés de formació de biocarbó, a part d'aconseguir un fertilitzant d'alta qualitat, a través del residu verd, també se n'extreu un producte dels gasos que s'emeten, aquest gas es coneix amb el nom de biogàs. El biogàs té com a mitjana un poder calorífic entre 18,8 y 23,4 megajouls per m³ (MJ/m³), respectivament. Aquest biogàs és suficient per alimentar un generador aproximadament d'uns 10 kW o per ser utilitzat com a gas combustible i aigua calenta sanitària ([Platnic et al](#)).

També es pot utilitzar per produir energia elèctrica mitjançant turbines o plantes generadores de gas, en forns, estufes, assecadors, calderes i altres sistemes de combustió de gas, degudament adaptats ([Richards et al, 1994](#)).

5.1.1.2 Balanç econòmic

Un dels principals dubtes en la producció de biocarbó és la seva viabilitat econòmica. Aquest és un tema important, ja que de la viabilitat econòmica se'n deriva l'aplicació a gran escala d'un sistema que es revela com a clau per mitigar el canvi climàtic.

Els ingressos per l'aplicació de biocarbó al sòl poden venir pels seu valors com condicionador del sòl i com a segrestador de carboni. El primer valor econòmic seria aportat pels pagesos, mentre que el segon seria aportat per les empreses o institucions que vulguin fer compensacions voluntàries de carboni. En aquest segon cas caldria contactar amb els diferents programes de compensació voluntària ([CeroCO2](#)) o empreses que es dediquen al comerç de compensacions ([Offset Options](#)) per esbrinar quins mecanismes de certificació haurien de seguir les operacions d'aplicació de biocarbó al sòl.

D'altra banda, hi ha el valor que pot tenir la conversió d'un material considerat residu (brancam forestal o verd urbà) en un producte amb valor econòmic, assolint al mateix temps uns grans beneficis ambientals (gestió dels boscos, prevenció d'incendis, reducció de les emissions en el transport i tractament, etc.). Per això és interessant estudiar el valor que pot tenir el carbonet de barbacoa produït amb aquest sistema o la barreja biocarbó-compost destinat als centres de jardineria.

En la Taula 5.1 es pot observar quin és el cost de producció del biocarbó, junt amb el material i preu necessari per poder dur a terme la producció. Cal tenir en compte que el preu final (19.765 €) engloba la suma del personal per producció de biocarbó i el material (on dins dels dos camps ja s'hi troben desglossats els diversos materials i personal).

Taula 5.1: Costos de producció de biocarbó.

CONCEPTE	UNITAT	PREU UNITARI (€)	Nº UNITATS	SUBTOTAL (€)
Personal per producció biocarbó				8.970,00
Peó (8h/dia)	€/mes	1165	6	6.990,00
Desplaçaments*	€/km	0,30	6600	1.980,00
Material				10.795,00
Lloguer forn biocarbó	€/mes	780	6	4.680,00
Transport forns	Transport	250	4	1.000,00
Assaig millores tecnològiques				1.850,00
Trituradora biocarbó		680	1	680,00
Sacs de paper etiquetats	sac	0,65	1000	650,00
Cosidora manual tancament de sacs		750	1	750,00
Material fungible				285,00
Lloguer furgoneta transport biocarbó	Dia lloguer	60	15	900,00
TOTAL				19.765

Font: solucionat 2012.

El possible valor econòmic de les diferents activitats s'haurà de contraposar amb les despeses que suposen totes les fases del procés de producció de biocarbó, per tal de conèixer el balanç econòmic dels diferents àmbits d'actuació i dels diferents productes.

Consultant 2 empreses (Taula 5.2) que comercialitzen amb biocarbó es pot veure que el preu de mercat no difereix de més d'un euro. La diferència de preu pot ser deguda a que un dels productes sigui 100% biocarbó com el de "Soil biochar" i per això sigui més elevat el preu; en canvi l'altre, el "Michigan biochar" el producte que ven com a biocarbó estigui barrejat amb altres materials per poder reduir-ne així el preu de venda.

Per altra banda s'ha calculat el cost estimatiu del bicarbó durant les campanyes experimentals, tenint en compte 2 dies i amb una obtenció de 140 Kg de bicarbó.

Taula 5.2: Preu del biocarbó en el mercat actual.

Empreses comercialitzadores de biocarbó.	Preu de mercat
Soil biochar	1,647€/Kg
Michigan biochar	0,95 €/Kg
Biocarbó Porqueres	0,6€/kg

Font pròpia.

5.1.1.3 Balanç ambiental

Als fòrums internacionals de promoció del biocarbó es considera que un dels principals problemes per a la comercialització a gran escala és la manca d'un estàndard. En efecte, la composició química del biocarbó depèn del tipus de matèria vegetal que hem emprat, i aquestes poden ser completament diferents, des de llenyoses forestals a herbàcies de jardí, amb una gran varietat d'espècies. Aquesta problemàtica ja es va viure anys enrere al mercat del compost, on també s'obté un producte molt diferent segons la primera matèria utilitzada.

Des de la *International Biochar Initiative*, s'estan duent a terme estudis d'estandardització, en els quals és bàsic conèixer la composició química elemental i el pH dels biocarbons produïts. En aquest projecte s'estudiarà l'anàlisi químic elemental i el pH del biocarbó produït a partir de diferents restes vegetals. Tota aquesta informació serà també molt útil en l'estudi agronòmic del seu potencial com a condicionador del sòl i fixador d'aigua i nutrients.

En el procés de formació del biocarbó, es produeixen una varietat de gasos (CH_4 , CO_2 , òxids de N_2). El CH_4 pot ser reconduït i utilitzat per produir energia i calor, d'altres gasos com el CO_2 són alliberats a l'atmosfera. Els gasos que poden tenir un aprofitament energètic s'anomenen biogàs.

El resultat del biogàs (Taula 5.3), és una mescla constituïda per metà (CH_4) en una proporció que oscil·la entre un 40% i un 70%, i diòxid de carboni (CO_2) amb una proporció entre 25% i

50%. També hi ha altres gasos amb petites proporcions com hidrogen (H_2), nitrogen (N_2), oxigen (O_2) i sulfur d'hidrogen (H_2S).

Taula 5.3: Típica composició del biogàs.

Composició del biogàs						
Elements	CH_4	CO_2	N_2	H_2	H_2S	O_2
%	50-75	25-50	0-10	0-1	0-3	0

Font: Richards et al., 1994.

Els materials orgànics cremats són una part natural del cicle de la fotosíntesi, per la qual cosa segrestar el carboni fora del cicle i bloquejar-lo en el procés de formació del biocarbó fa que hi hagi una disminució neta de carboni en l'atmosfera. A causa de la seva alta estabilitat química, el seu alt contingut en carboni i en el seu potencial per residir al sòl durant dècades, segles, i fins i tot milers d'anys, el biocarbó té el potencial necessari per convertir-se en embornals de carboni a llarg termini.

Per tant, el biocarbó pot exercir un paper molt important en ajudar a segrestar carboni de l'atmosfera i parcialment compensar les emissions de gasos d'efecte hivernacle produïts per la crema de combustibles fòssils.

El sòl és una font important d'òxid nitrós (N_2O) i una font i embornal de metà (CH_4). Aquests gasos són 23 i 298 vegades, respectivament, més potents que el diòxid de carboni (CO_2) en forma de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. En sòls on s'ha dipositat biocarbó, les emissions de N_2O s'han vist reduïdes fins a un 90% (Van Zwieten et al., 2007).

5.1.1.4 Balanç social

Pel que fa a la tecnologia corresponent a l'elaboració de biocarbó, al ser una tècnica manual fa falta mà d'obra, sobretot durant el procés de preparació de les restes forestals i de poda per introduir-les en la caldera. Durant aquesta fase fan falta **mínim dues persones, i si tenim en compte la brigada necessària per retirar les restes forestals i netejar la franja de protecció d'incendis, com a mínim tres persones més**. Aquest fet seria interessant ja que es creen llocs de treball dins el mateix municipi i les persones no s'han de desplaçar a gaire distància.

Per contra, si la caldera es troba en una zona pròxima a una àrea urbana o residencial, **pot ocasionar molèsties pels fums que genera la caldera**.

Sempre s'ha d'instal·lar en un lloc obert d'uns 2500 m² o en un lloc allunyat de qualsevol massa forestal per prevenir qualsevol situació de perill que pogués ocasionar un incendi. Sovint els boscos estan mal gestionats i la retirada de la matèria morta pot fer disminuir l'elevat risc d'incendi.

Un fet socioeconòmic rellevant és que si les restes vegetals municipals i particulars es poden gestionar amb aquest sistema, podria veure's reduïda la despesa anual dels ciutadans corresponent a la gestió dels residus.

5.1.2 Anàlisi de la planta de compostatge

5.1.2.1 Balanç energètic

Consultant les dades de la planta de compostatge de Torroelles (Marta Vila, 1998), s'ha pogut obtenir la conversió dels residus orgànics (en pes) al seu poder calorífic considerant que una tona de RSU equival a 250 Kg de petroli i que una tona de fracció vegetal equival a 498 Kg de petroli.

Si es fa el balanç energètic de la producció de compost és positiu (suposant que el transport és local i que per tant no influenciarà en el balanç).

El contingut energètic del compost obtingut en un any és:

1.092×10^{10} kcal/3500 Tm R"any- 290826541 kcal/3500 Tm R"any = **1.06×10^{10} kcal/3500 Tm R"any.**

Per tant la producció de compost suposa un estalvi d'energia ja que el seu contingut energètic és major que l'energia que es consumeix per la seva producció degut a que s'aprofita un material residual que generalment seria eliminat (incineradores).

Expressant-ho d'una altra forma, per tractar 3500 Tm de residus orgànics és necessari un consum energètic de més de 290 milions de Kcal/any.

5.1.2.2 Balanç econòmic

Fent una comparació (Taula 5.4) del que costa produir una tona de fangs amb una tona de FORM (les quals contenen fracció vegetal) s'observa que la FORM té un cost total de tractament de 35,03 €/tona, mentre que el cost de tractament de fangs és de 41,04 €/tona, és a dir, el tractament de fang és un 17,15% més car respecte el de FORM.

Taula 5.4: Costos de tractament de fangs vs. FORM.

FANGS	€/tona
Consum energètic	18,42
Materials fungibles	12,90
Fracció vegetal	0,22
Equips i serveis auxiliars	0,60
Personal	4,33
Manteniment equips	3,85
Controls de procés	0,72
Cost de tractament	41,04

FORM	€/tona
Consum energètic	17,74
Materials fungibles	0,06
Fracció vegetal	0,22
Equips i serveis auxiliars	0,60
Personal	4,33
Manteniment equips	3,85
Controls de procés	0,72
Gestió del rebuig	7,50
Cost de tractament	35,03

Font: Marc Arimany i Clavaguera. Tècnic Àrea de residus, espais verds i cicle de l'aigua Consorci de Medi Ambient i Salut Pública de la Garrotxa. SIGMA.

Cal esmentar que tant el personal, els equips i serveis auxiliars com els controls de procés en els 2 tipus tenen el mateix preu, per tant el que fa que tinguin un cost de tractament diferent entre ells són el consum energètic, els materials fungibles, el manteniment d'equips i la gestió del rebuig (per part del FORM).

També se'n fa un estalvi econòmic degut a que:

- Reducció de la necessitat d'aigua, fertilitzants i plaguicides.
- Es pot comercialitzar com un producte.
- Aporta riquesa als sòls cultivables.
- Allarga la vida dels abocadors reduint les aportacions orgànica.

5.1.2.3 Balanç ambiental

S'observen emissions de diòxid de carboni, compostos nitrogenats (principalment l'amoníac), compostos sulfurosos i compostos orgànics volàtils (COV's); també un grup molt ampli que inclouen els àcids volàtils, compostos aromàtics, terpens, aldehids, cetones, alquens, èsters i alcohols.

Segons Homans i Fisher (1992) una incompleta descomposició aeròbica en una pila de compostatge provocaria emissions d'alcohols, cetones, èsters i àcids orgànics.

Com s'observa a la següent Taula 5.5 es mostra l'estalvi d'emissions de CO₂ que representa utilitzar aquests nutrients (N, P i K) en lloc de fabricar-los (Kongshaug et al., 1998) i els Kg aportats de nutrients per tona de compost.

Taula 5.5: Kilograms dels principals nutrients aportats per l'ús d'una tona de compost (Castelldefels) i estalvi equivalent de CO₂.

Kg aportats per tona de compost			Kg CO ₂ eq. estalviats en la fabricació dels fertilitzants substituïts		
N	P	K			
11,45	2,43	7,93	60,57	1,26	3,01

Font: Benito et al., 2009.

Tot i emetre's emissions de CO₂ s'observa que en aplicar el compost al sòl se'n segresten 1.121 tones i que durant el procés de compostatge se'n estalvien 1.322 (en ser substituït el compost per fertilitzants minerals) (Taula 5.6).

Taula 5.6: Beneficis ambientals del compost produït.

Tones CO ₂ eq. estalviades (en substituir fart. mineral per compost)	Tones de CO ₂ segrestat (en aplicar el compost al sòl)*	Tones de MO que no han anat a l'abocador
1.322	1.121	101.925

* calculats segons Smith et al, 2001.

Font: Benito et al., 2009.

El compost fet a partir de matèria orgànica recollida selectivament és un adob orgànic útil en agricultura i jardineria, que contribueix a reduir l'ús de fertilitzants químics.

A més, compostar la matèria orgànica evita que se li hagi de donar un tractament final (deposició controlada o incineració). Això vol dir que el compostatge minimitza la necessitat de destinar espais al territori per ubicar-hi abocadors, ja que es pot evitar que vagin a l'abocador 101.925 Tones de MO (Taula 5.6).

Segons les dades trobades a la planta de compostatge de Sant Cugat del Vallès, per a cada tona de residu tractat al any es retenen 365 kg de CO₂ ho que fa encara mes positiu aquest sistema, ja que ajuda a mitigar les emissions de gasos de l'efecte hivernacle.

Com principals beneficis de compostar citarem alguns exemples:

- **Reducció de la càrrega contaminant en abocadors:** gràcies als processos mecànics biològics es redueix la quantitat de residus i la càrrega contaminant del rebuig que van a parar a les plantes finalistes de tractament (dipòsits controlats i les incineradores).
Aquest fet és molt important ja que els residus biodegradables en un dipòsit controlat produeixen lixiviats i gasos amb efecte hivernacle.
- **Producció de compost** mitjançant el procés de compostatge, de manera que es genera un substrat orgànic que es pot utilitzar per a l'agricultura; així s'estalvien recursos i, a més, es fixen els fertilitzants químics, que poden ser una font de contaminació d'aqüífers i altres ecosistemes.
- **Producció d'energia renovable mitjançant la metanització,** que genera CO₂ i CH₄ a parts iguals, així com altres subproductes en menor quantitat, en una barreja que s'anomena habitualment biogàs. El metà és, per tant, una font de combustible renovable que pot servir per generar electricitat i calor.

El baix contingut en compostos nitrogenats fa que el destí del compost sigui l'aplicació directa al territori o com a component estructural per a la producció de terres vegetals.

Per usos silvícoles o de regeneració de boscos l'aplicació de compost de fracció vegetal contribueix a millorar les propietats físico-químiques del sòl i a generar efectes positius pel que fa al desenvolupament i creixement de les llavors al substrat.

Cal tenir en compte que hi pot haver **contaminació de les aigües degut als lixiviats**, per tant s'hauran de protegir de les filtracions tant les aigües superficials com subterrànies dels lixiviats.

5.1.2.4 Balanç social

Els processos de compostatge estan relacionats amb la **generació de males olors**, degut a l'emissió de compostos nitrogenats (principalment amoníac), compostos sulfurosos i COV's.

Actualment aquesta generació de males olors és un dels impactes ambientals i socials més importants a tenir en compte en els processos de compostatge, ja que és un dels principals motius d'inquietud i rebuig per part dels ciutadans envers aquestes instal·lacions.

Cal esmentar que les olors són un factor considerat en el sistema de prevenció i control que regula la Llei 3/1998 de 27 de febrer de la intervenció integral de l'Administració Ambiental que s'inspira en la Directiva europea 96/61/CE de 24 de setembre de 1996. Aquesta directiva sotmet a les activitats amb un elevat potencial de contaminació a una sèrie d'obligacions fonamentals.

El transport de material i les màquines de triturar poden causar **molèsties acústiques** degut al soroll.

Els **llocs de feina que pot generar** aquesta tecnologia depenen de la superfície de la planta i la relació que tingui, per exemple amb els residus portats des d'un abocador, es poden comptabilitzar els transportistes i la mà d'obra que treballi a la planta amb un nombre de 10 treballadors aproximadament.

5.1.3 Anàlisi d'un abocador

5.1.3.1 Balanç energètic

L'eficiència energètica que es podria arribar a extreure d'un abocador, pot ser, sobre tot l'energia generada pel biogàs.

Els microorganismes d'aquesta sèrie de transformacions formen un ecosistema complex, on els residus de l'acció d'uns són aprofitats com aliment per altres.

La font principal d'organismes, responsables de la descomposició dels residus és el material del sòl que s'utilitza com cobriment diari i final.

Un metre cúbic de biogàs, amb un 50% de metà, pot arribar a tenir un Poder Calorífic Interior (PCI) al voltant de 18 MJ/m³ en condicions normals (0°C i 1 atmosfera), (Taula 5.8). Aquest valor, ens proporciona una idea del seu potencial energètic (aproximadament 2,5 Nm³ de biogàs equivalen energèticament a 1 Nm³ de gas natural).

5.1.3.2 Balanç econòmic

El transport del residu verd, com el personal que el recull i el manteniment dels contenidors representen un cost per a cada localitat.

En el cas del municipi de Porqueres, les seves despeses anuals, relacionades amb el cost total del servei de recollida del residu verd, corresponen a uns 34.000€ aproximadament (Taula 5.7).

A la Taula 5.7 s'observa el cost que equival tractar el residu verd, hi ha les tones de residu verd i de fustes que es generen cada mes i el seu valor de gestió total.

Les dades han estat calculades tenint en compte que el preu que l'Ajuntament de Porqueres paga al Consell Comarcal del Pla de l'estany (principal gestor dels residus urbans i residus

selectius del municipi), perquè gestioni el residu verd és de **46,44 €/tona de residu**, segons dades extretes del Ajuntament de Porqueres per l'any 2011.

També, a la taula 5.7 tenim el cost, per semestre, que representa el transport i servei del residu verd. I el cost total del servei és la suma de tots dos valors.

Taula 5.7: Despeses de l'Ajuntament de Porqueres de l'any 2011 per la gestió de residu verd i el cost del servei de transport i manteniment.

Mes	Tones Total	Euros
Gener	15,16	704
Febrer	16,44	763
Març	17,48	811
Abril	26,66	1.238
Maig	25,25	1.172
Juny	19,98	927
Juliol	20,52	952
Agost	22,95	1.065
Setembre	28,09	1.304
Octubre	24,93	1.157
Novembre	36,87	1.712
Desembre	32,52	1.510
Total	286,85	13.321€

Semestre	Cost de Servei
1º	4.474€
2º	5.175€
3º	5.491€
4º	5.514€
Total	20.656€

COST TOTAL DEL SERVEI	33.978€
------------------------------	----------------

Font: Ajuntament de Porqueres, 2011.

Aquest valor, **33.978 €** és un dels motius principals de l'elaboració d'aquest projecte.

Aquest valor representa una gran despesa per un municipi i encara més, per un municipi petit, de 4.431 habitants. És per això que es busquen altres tecnologies per tractar aquest residu, tecnologies més rentables i que puguin transformar el residu en un producte.

5.1.3.3 Balanç ambiental

El gas d'abocador (biogàs) es genera per diferents fases de biodegradació de la major part de la matèria orgànica present en els residus municipals abocats, degut a les condicions majoritàriament anaeròbies que es donen per la cobertura diària amb terra i materials inerts. En quant a la composició i característiques dels gasos que es troben en els abocadors inclouen amoníac (NH₃), diòxid de carboni (CO₂), monòxid de carboni (CO), hidrogen (H₂), sulfur d'hidrogen (H₂S), metà (CH₄), nitrogen (N₂) i oxigen (O₂) i clorofluorocarbonis (CFC's) i altres, com ara benzè, toluè, clorur de vinil, compostos organosulfurats, hidrocarburs clorats, etc. (tots ells englobats en la denominació de Compostos Orgànics Volàtils, COV's). On el CO₂ i el CH₄ són els principals gasos procedents de la descomposició anaeròbia.

Segons les dades obtingudes pel projecte "Biogàs d'abocador de residus municipals a Catalunya", fet pels estudiants de la Universitat Politècnica de Barcelona, (Taula 5.8) els percentatges de gasos emesos per un abocador són:

Taula 5.8: Constituents típics trobats en el gas d'abocador.

Component	Percentatge (base volum sec)
CH ₄	45-60
CO ₂	40-60
N ₂	2-5
H ₂ S	0-1,0
O ₂	0,1-1,0
NH ₃	0,1-1,0
H ₂	0-0,2
CO	0-0,2
Constituents en quantitat traça	0,01-0,6
Característiques	
Temperatura	35-67°C
Contingut en Humitat	Saturat
Poder calorífic inferior (MJ/m ³)	18

Font: TCHOBANOGLIOUS, 1995.

Per tal de fer un càlcul estimatiu de les emissions dels components majoritaris del gas d'abocador, produïdes en els abocadors administrativament controlats de Catalunya, s'ha utilitzat el *software* informàtic *Landfill Gas Emissions Model - version 2.01* (LandGEM, 2010), desenvolupat per el *Control Technology Center*, que pertany a l'Agència Medi Ambiental dels Estats Units d'Amèrica (Environmental Pollution Agency, EPA 2010).

En el cas de l'abocador del Pla de l'Estany, aquest biogàs no és tractat i directament es emès a l'atmosfera mitjançant unes xemeneies.

En quan a la part que li pertoca respecte al residu verd el mes de febrer de 2008, el Consell Comarcal del Pla de l'Estany va iniciar la prestació del servei de recollida de restes de poda i jardineria als municipis de la comarca.

El servei de recollida de residu verd s'ha realitzat segons la taula 5.9 per el municipi de Porqueres:

Taula 5.9: Repartiment de contenidors de residu verd i freqüències de recollida (2011).

Municipi	Núm. Contenidors	Núm. Recollides/setmana
Porqueres	11	1,5

Font: Consell Comarcal del Pla de l'Estany, 2011.

Les emissions totals de residu verd abocats a l'any 2011 varen ser de 267,1 tones (Taula 5.10). Aquest valor correspon a la recollida feta als 11 contenidors amb els que compte el municipi de Porqueres.

Taula 5.10: Recollida de residu verd que es fa al Municipi de Porqueres.

MUNICIPI PORQUERES				
Residu	Tones generades 2011	%(*)	Tones generades 2010	Increment
VERD total	267,1	13%	263,9	1,2%

(*) Respecte el total de residus domèstics

Font: Consell comarcal del Pla de l'Estany, 2011.

Aquest valor és dels més elevats de la comarca del Pla de l'Estany, és per això que s'hauria de trobar un mètode eficaç per poder valoritzar aquest residu i que la seva finalitat no sigui la crema o l'abocador, sinó que es reutilitzi i poder treure un profit mitjançant una tecnologia sostenible.

Pel que fa la recepció de residu verd directament a l'abocador del Pla de l'Estany, s'ha continuat amb la recepció per separat de residu verd i fusta procedent d'ajuntaments. Aquest residu son acumulats i transportats cap a la planta de compostatge d'Olot. És per això que aquestes entrades de residu mereixen l'aplicació d'un preu públic diferenciat que compensa els costos de gestió externa que assumeix el Consell Comarcal. Aquests preus públics es regulen a través d'una ordenança fiscal.

5.1.3.4 Balanç social

El municipi de Porqueres té 4.431 habitants els quals generen, (Taula 5.11) una producció de residus municipals al dia de 1,17 kg/habitants.

Tal com em explicat abans el percentatge de residu verd respecte al residu municipal total és d'un 13%. Amb aquesta dada podem calcular el que genera un habitant a l'any. **Cada habitant del municipi de Porqueres genera aproximadament 55,52 kg/any de residu verd.**

Taula 5.11: Generació per càpita de residus municipals a Porqueres.

Kg/hab.dia Municipals domèstics	Kg/hab.any Municipals domèstics	Kg/hab.any residu verd (13% respecte al M.D)
1,17	427,05	55,52

Font: Consell comarcal del Pla de l'estany.

Que els abocadors han d'existir és una realitat, mentre el rebuig no pugui ser reintroduït al cicle de consum. No obstant, no és fàcil trobar una **ubicació per als abocadors**. Ja no tant per les característiques hidrològiques i geogràfiques que requereix, sinó per causa de l'oposició social i l'impacte ambiental que produeix al seu entorn. Si l'abocador compleix la legislació, no hi ha d'haver cap problema pel qual els veïns immediats a l'abocador es vegin afectats més enllà de l'**impacte visual**. Però, la mala premsa i la por a disminuir la seva qualitat de vida, fan que l'oposició per part dels veïns a l'abocador estigui assegurada. Els grups ecologistes també

són una part important de l'oposició doncs es queixen de la **pèrdua de fauna i flora de l'entorn, en definitiva de la diversitat.**

Com a conseqüència de la difícil ubicació d'aquests espais al territori, és encara més difícil trobar sortida als residus no aprofitables.

Tot i que aquesta tecnologia és ben rebuda, **la generació de llocs de treball és de les més elevades** en comparació amb els altres sistemes de tractament, entre els transportistes, i la gent que treballa en la gestió de l'abocador poden arribar, com es el cas de l'abocador del Pla de l'Estany a uns 40 treballadors aproximadament.

Com veiem, malgrat que el nivell de recollida selectiva ha experimentat un avanç molt gran en els últims anys, no és suficient i cada vegada es produeixen més residus urbans i el nivell de residus que arriba als dipòsits també augmenta. Aquest fet, juntament amb la manca de disposició d'espais per abocar aquests residus, comporta un problema greu a nivell mundial. Per això és necessària una reacció en dos sentits. Per una part, la creació de nous dipòsits de residus i per altra augmentar el nivell de recollida selectiva. Ambdues solucions, però, per ara són complicades.

5.1.4 Anàlisi d'una planta de biomassa

5.1.4.1 Balanç energètic

Aquest combustible té un **poder calorífic interior (PCI) superior a 18 MJ/kg** (la meitat del gasoil). El qual és equivalent a 3.055 KWh/m³ (CTFC).

El faig, el castanyer i el pollancre són frondosos i juntament amb les coníferes tradicionals ens donen un producte de molta qualitat i eficiència energètica. Podem dir que **les calderes que combustionen pèl·let tenen rendiments superiors al 95%.**

El pèl·let veiem que es consumeix més que el gasoil (Taula 5.12); ja que hi ha un consum anual de pèl·let de 5661.38 Kg/any envers els 2890.03 litres/any de gasoil.

Taula 5.12: Consum de combustibles.

Consum de combustibles	
Consum diari de pèl·lets	14,36 kg/dia
Consum anual de pèl·lets	5.661,38 kg/any
Consum diari de gasoli	6,6 litres/dia
Consum anual de gasoli	2.890,03 litres/any

Font: Eficiència energètica.

5.1.4.2 Balanç econòmic

El pèl·let és un biocombustible un **40% més econòmic que el gasoil** (el preu segueix l'IPC i no el barril de petroli).

Les calderes de biomassa de pèl·lets de la més alta qualitat trigarà 4 anys a compensar el major cost de la seva caldera. A partir d'aquest any, començarà a estalviar cada any. L'estalvi total

que haurà gaudit amb aquesta caldera després de 20 anys de vida útil, serà 94.005,43 euros, davant la compra d'una de gasoil (Solclima).

S'observen els costos de la caldera i material (pèl·let i gasoil) junt amb el que incrementa el seu preu respectivament i el rendiment estacionari; (taula 5.13) on es pot veure que la caldera de pèl·let té un preu 4 vegades més elevat que el gasoil, però per altra banda el preu de la matèria i l'increment anual és inferior el del pèl·let que el del gasoil. També cal destacar que el rendiment és un 12% més elevat en el pèl·let.

Amb el pèl·let s'estalvien 1033,€ més que amb el gasoil; i el temps en que triga a amortitzar una caldera de pèl·let és de 4 anys (Taula 5.14).

Taula 5.13: Comparativa costos del pèl·let i el gasoil.

PELET		GASOIL	
Preu caldera	14.000 €	Preu caldera	3.000 €
Preu pèl·let	0,18 €/kg	Preu gasoil	0,7€/l
Increment anual preu pèl·let	4%	Increment anual preu gasoil	10,60%
Rendiment estacionari caldera pèl·let	92%	rendiment estacionari caldera gasoil	80%

Font: Eficiència energètica.

Taula 5.14: Comparativa d'amortització i costos.

COMPARATIVA D'AMORTITZACIÓ I COSTOS	
Estalvi mínim anual de pèl·let vs. Gasoil	1.033,97 €
Sobrecost que suposa la caldera de pèl·let vs. gasoil	6.800 €
Anys d'amortització caldera de pèl·let	4

Font: Eficiència energètica.

5.1.4.3 Balanç ambiental

En els “ [Manuales de energías renovables. Energía de la biomasa \(Idae\)](#)” s'explica que és una energia neta, i la raó per la que això es justifica és molt simple: les emissions de CO₂ de les estufes de pèl·let es consideren neutres. Això significa que el CO₂ alliberat en el procés de la combustió es compensa amb el CO₂ absorbit per la biomassa durant la fotosíntesi. Així es pot afirmar que el balanç de CO₂ és neutre i que no augmenta l'efecte hivernacle perquè el carboni que s'allibera forma part de l'atmosfera actual i no del subsòl com el capturat pel gas o el petroli (Figura 5.1).

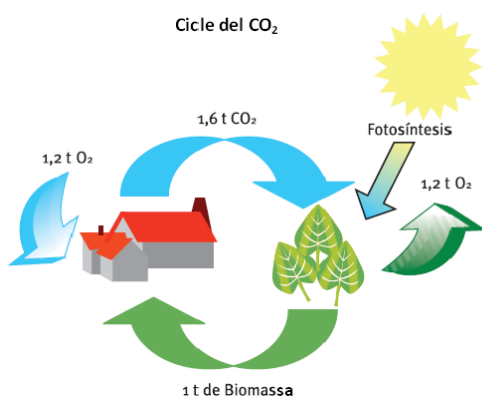


Figura 5.1: Balanç del cicle de CO₂ quan es genera biomassa.

Font: Idae.

A banda de ser una energia neta, és ambientalment bona en efectes de:

- No produeix emissions sulfurades o nitrogenades (pluja àcida), ni partícules sòlides.
- Prevenció d'incendis i plagues.
- Balanç neutre d'emissions de CO₂.
- Font d'energia renovable, local i fàcil de gestionar.
- Millora i expansió del bosc.
- Aprofitament de les cendres generades (abonament).
- Mínimes emissions a causa de l'elevada eficiència de la tecnologia utilitzada (combustió).

5.1.4.4 Balanç social

La percepció a casa nostra que els boscos són sistemes naturals intocables està molt arrelada. Sovint des de determinats àmbits és defensa la no intervenció a la forest, cosa que dificulta l'equilibri entre la gestió econòmica d'aquesta amb el manteniment dels valors no intervencionistes.

Però també s'ha vist una **bona percepció** ja que:

- Disminueix la dependència externa del proveïment de combustibles.
- Afavoreix el desenvolupament del món rural i suposa una oportunitat per al sector agrícola, ja que permet sembrar conreus energètics en substitució d'altres excedentaris.
- Obre oportunitats de negoci a la indústria, afavoreix la investigació i el desenvolupament tecnològics i incrementa la competitivitat comercial dels productes.

5.2. Resultats de la fase d'anàlisis fet al camp

Durant tot aquest projecte s'ha fet una gran recerca bibliogràfica de totes les tecnologies esmentades però la fase d'anàlisis fet al camp ha sigut l'apartat pràctic d'aquest projecte. La qual ens ha permès la comparació amb les dades bibliogràfiques amb les dades obtingudes al camp.

Aquesta fase analítica es va realitzar els dies 9, 23 i 30 de Maig de 2012 a la zona esportiva de Miànigues del municipi de Porqueres, treballant conjuntament amb l'empresa SolucioNAT, per estudiar la funcionalitat d'una caldera de biocarbó amb diferents tipus de restes forestals. En aquest estudi s'han analitzat els diferents gasos obtinguts (O₂, CO₂, CO i biogàs) de la combustió d'aquests residus, els resultats per a cada una de les 3 campanyes es mostren a continuació.

5.2.1 Campanya experimental 1

Aquesta campanya es va realitzar el 9/5/2012 a la zona esportiva de Miànigues, al municipi de Porqueres, on es van registrar les temperatures que assolía la caldera durant el procés de

producció de biocarbó. La fusta utilitzada per aquesta campanya va ser de restes de poda, pollancre i morera.

A la Taula 5.15 es mostren les característiques i el material utilitzat per la campanya 1.

Taula 5.15: Dades de la campanya 9/05/2012.

Dia	Restes	Pes inicial (kg)	Pes final (kg)	Rendiment (%)
09/05/2012	Poda	270	50	18,5

Font pròpia.

A la Figura 5.2 es mostra el perfil de temperatura i les diferents fases al llarg del procés.

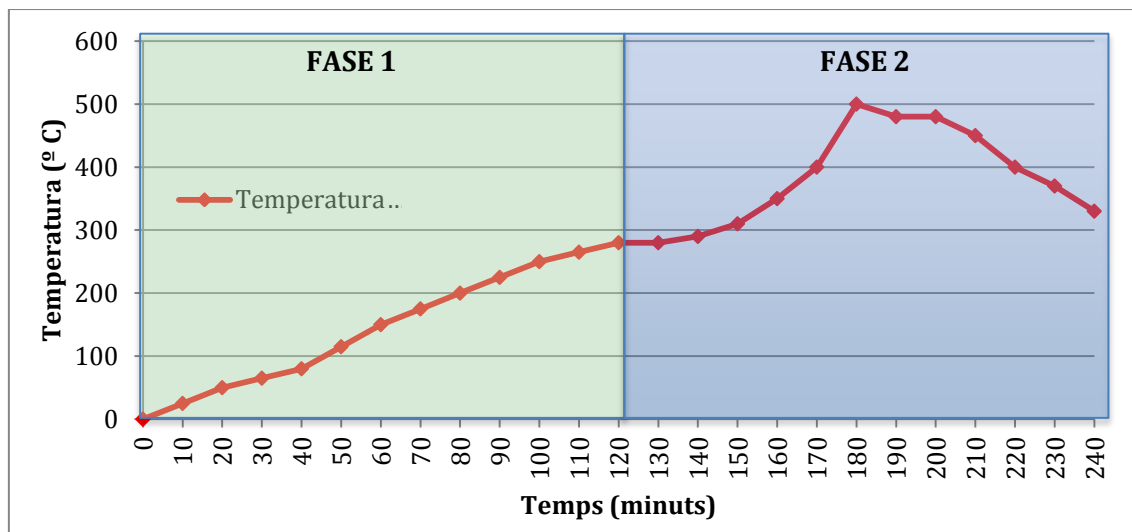


Figura 5.2: Campanya experimental 1, temperatura.

Font pròpia.

Les dades recollides mostren dues tendències ben diferents durant la fase 1 i la 2 del procés. Durant la fase 1, les temperatures màximes no superen els 280 °C ja que en aquesta fase les restes de poda eliminen l'aigua que contenen, i s'allibera CO₂. En canvi a la fase 2 s'assoleixen temperatures de fins a 500 °C. Això és degut a que el biogàs que es desprèn durant la segona fase té un poder calorífic major que la llenya que s'utilitza a la primera fase com a combustible.

A la segona fase el màxim de temperatura s'assoleix al minut 180, però a partir d'aquest punt la temperatura decreix. Això és degut a que descendeix la producció de biogàs pel fet a que dins de la caldera hi ha una disminució de la concentració de carboni (C) de les restes de poda.

5.2.2 Campanya experimental 2

Aquesta campanya es va realitzar el 23/5/2012 a la zona esportiva de Miàrigues, al municipi de Porqueres, on es van extreure dades concloents de la primera fase del procés de piròlisi, però no de la segona fase degut diverses variables:

- La fusta utilitzada per a la generació de biocarbó va ser poda i no restes forestals.
- Aquesta fusta estava molt humida degut a les intenses pluges dels dies anteriors.
- La fusta utilitzada com a combustible per als cremadors també es trobava molt humida i això dificultava que hi hagués una bona combustió i per tant no es van assolir les temperatures desitjades.

Aquests factors van provocar que no s'obtingués biogàs i no s'arribés a completar la segona fase del procés.

A la Taula 5.16 es mostren les característiques i el material utilitzat per la campanya 2.

Taula 5.16: Dades de la campanya 23/05/2012.

Dia	Restes	Pes inicial (kg)	Pes final (Kg)	Rendiment (%)	C inicial (%)	C final (%)
23/05/2012	Poda	360	90	25*	40,52	74,44

*El biocarbó produït en aquesta campanya no ha quedat totalment carbonitzat.

Font pròpia.

Balanç de les emissions de carboni (C)

Si es realitza un balanç d'emissions de carboni (C) es pot observar que durant aquesta campanya s'ha **alliberat el 54,1%** de C en gasos productes de la combustió (CO_2 , CO o CH_4) i el **45,9% de C s'ha segrestat** en el biocarbó obtingut.

En un procés de combustió sense limitació d' O_2 , és a dir, en una combustió completa de totes les restes forestals d'aquesta campanya. S'haurien alliberat un total de **534,6 kg CO_2** .

I durant el procés amb absència d' O_2 , (suposant que tot el C es transforma en CO_2) s'han alliberat en tot el procés **289,1 kg de CO_2** i s'han segrestat 245,5 kg de CO_2 . Per tant, en aquesta campanya concreta, **s'han estalviat 245,5 kg de CO_2** , que han quedat retinguts en el biocarbó i no s'han alliberat.

A la Figura 5.3 es mostra el perfil de temperatura i les concentracions de CO_2 i O_2 durant la fase 1 del procés.

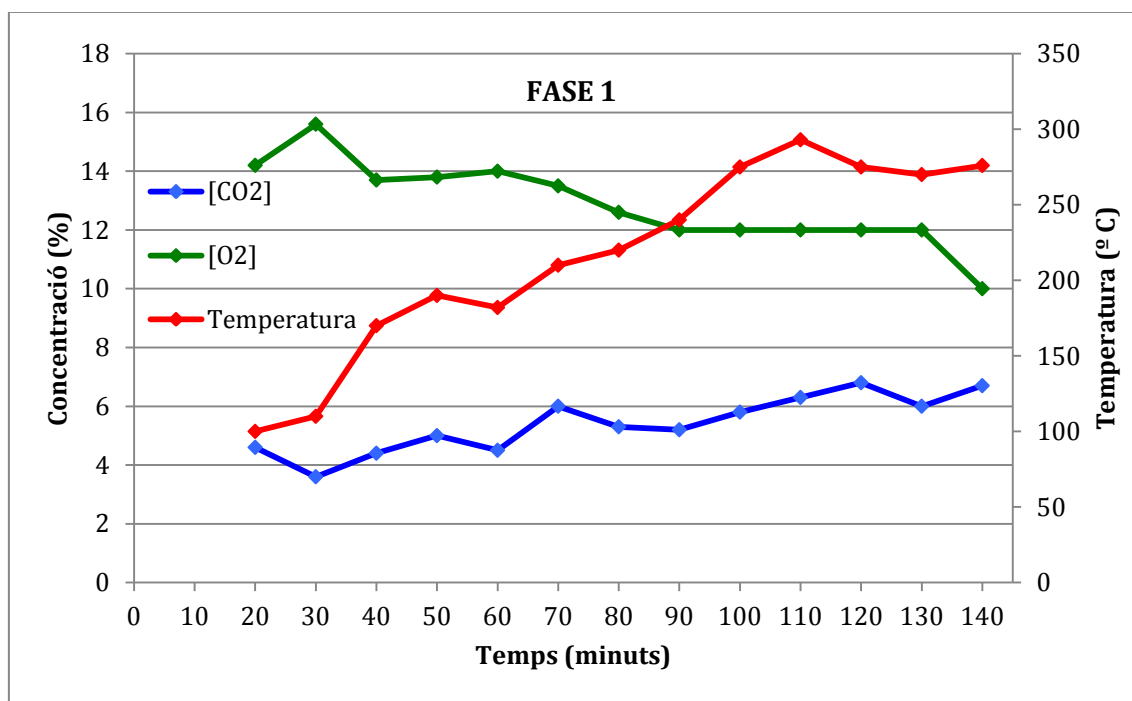


Figura 5.3: Campanya experimental 2, primera fase CO_2 vs. O_2 i temperatura.

Font pròpia.

Els 20 primers minuts (Figura 5.3) no es disposa de dades degut a problemes operacionals. La temperatura màxima assolida no arriba als 300 °C. El fet de que hi hagi un 12,3 % d' O_2 de

mitjana, provoca que la combustió que es genera dins del cilindre estanc sigui amb un dèficit molt gran d'oxigen. A mesura que passa el temps la concentració d'O₂ disminueix degut a que no hi ha cap més aportació per part de l'exterior. Aquest fet provoca uns nivells molt alts de CO (>4.000 ppm) i uns molt baixos de CO₂ (5,7 % de mitjana) degut a la mala combustió generada.

5.2.3 Campanya experimental 3

Aquesta campanya es va realitzar el 30/5/2012 a la zona esportiva de Miànigues, al municipi de Porqueres, on es van extreure totes les dades esperades: [CO], [CO₂], [O₂], temperatura i cabal de biogàs. La llenya utilitzada per transformar en biocarbó van ser restes forestals, formades bàsicament per Pi blanc (*Pinus halepensis*).

A la Taula 5.17 es mostren les característiques i el material utilitzat per la campanya 3.

Taula 5.17: Dades de la campanya 30/05/2012.

Dia	Restes	Pes inicial (kg)	Pes final (Kg)	Rendiment (%)	C inicial (%)	C final (%)
30/05/2012	Pi blanc	609	140	23	49,75	87,93

Font pròpia.

Balanç de les emissions de carboni (C)

Si es realitza un balanç de les emissions de carboni, es pot observar que durant aquesta campanya s'ha **alliberat el 59,4%** de C en gasos productes de la combustió (CO₂, CO o CH₄) i el **40,6% de C s'ha segrestat** en el biocarbó obtingut.

En un procés de combustió sense limitació d'O₂, és a dir, en una combustió completa de totes les restes forestals d'aquesta campanya. S'haurien alliberat un total de **1.110,8 kg CO₂ (1,11 Tones)**.

I durant el procés amb absència d'O₂, (suposant que tot el C es transforma en CO₂) s'han alliberat en tot el procés 658,9 kg de CO₂ i s'han segrestat 451,9 kg de CO₂. Per tant, en aquesta campanya concreta, **s'han estalviat 451,9 kg de CO₂**, que han quedat retinguts en el biocarbó i no s'han alliberat.

A la Figura 5.4 es mostra el perfil de temperatura i les concentracions de CO₂ i O₂ durant la fase 1 del procés.

La temperatura del reactor va augmentar progressivament fins assolir un màxim en aquesta primera fase del procés d'obtenció de biocarbó de uns 370 °C (minut 120).

Els nivells d'oxigen corresponents a l'inici del procediment són aproximadament els atmosfèrics, ja que al inici dins la caldera s'hi troba l'aire que hi ha quedat al tancar-la. Inicialment es crea una combustió sense dèficit d'oxigen, fins que aquest disminueix i comença a partir del minut 20 una combustió amb dèficit d'oxigen. Aquest fet ens fa entendre que els nivells de CO (>4.000 ppm) siguin tant elevats i els de CO₂ contràriament siguin tant baixos. Una combustió amb un dèficit tant gran d'O₂ dona com a resultat grans quantitats de CO.

Els nivells tan elevats de CO podria posar en perill de intoxicació per als treballadors de la planta. La perillositat del CO és que es combina amb la hemoglobina i impedeix que aquesta absorbeixi oxigen.

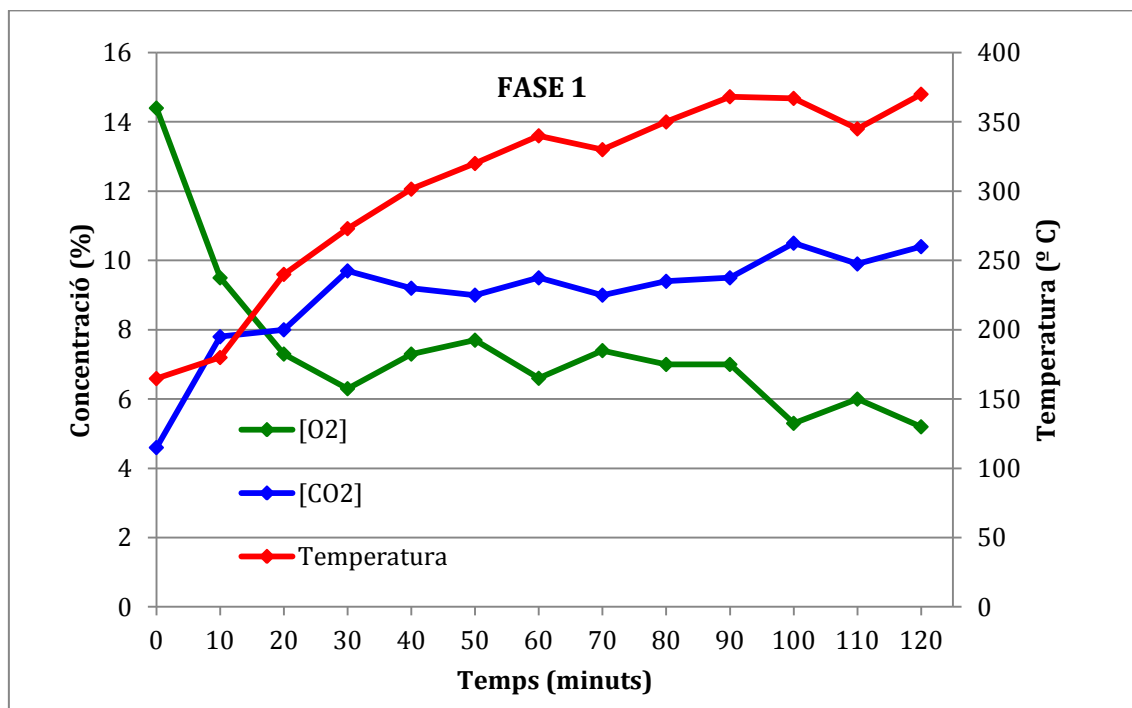


Figura 5.4: Campanya experimental 3, primera fase O₂ vs. CO₂ i temperatura.
Font pròpia.

A partir del minut 120 de la segona campanya, es va començar a mesurar el cabal de biogàs que sortia del cilindre estanc en direcció als cremadors (Figura 5.5).

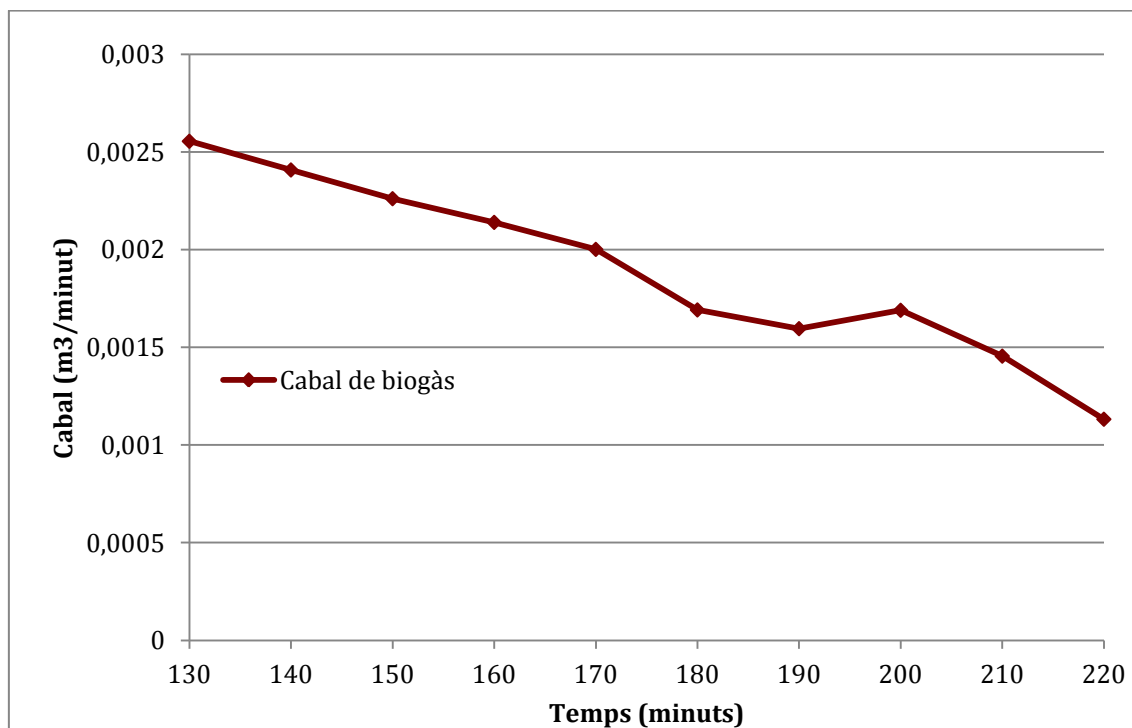


Figura 5.5: Campanya experimental 3. Nivells de gasos a la segona fase en l'obtenció de biocarbó.
Font pròpia.

El cabal de biogàs disminueix progressivament degut a que durant el procés de piròlisi decreix la concentració de carboni disponible per ser transformat en biogàs.

A partir de la mitjana del cabal mesurat s'ha calculat el volum total de biogàs produït durant la segona fase. Aquest és de 10,2 m³ durant tot el procés mesurat. Però tenint en compte els resultats obtinguts a la Figura 5.8, el volum de biogàs calculat teòricament utilitzant l'equació de la recta de regressió, és de 29,96 m³.

Aquest volum teòric és superior degut a una major aprofitament del biogàs, ja que la fase 2 començaria abans.

5.2.3 Comparativa de les campanyes experimentals

Anàlisi de temperatura

Durant la primera campanya com a la segona es van fer servir diferents tipus de fusta per tal de produir el biocarbó. Les restes de poda utilitzades, estan formades majoritàriament per morera (*Morus alba*). En canvi les restes forestals estan formades per pi blanc (*Pinus halepensis*), una espècie piròfila. A la Figura 5.6 es mostren les temperatures obtingudes amb les diferents restes vegetals en les campanyes 2 i 3.

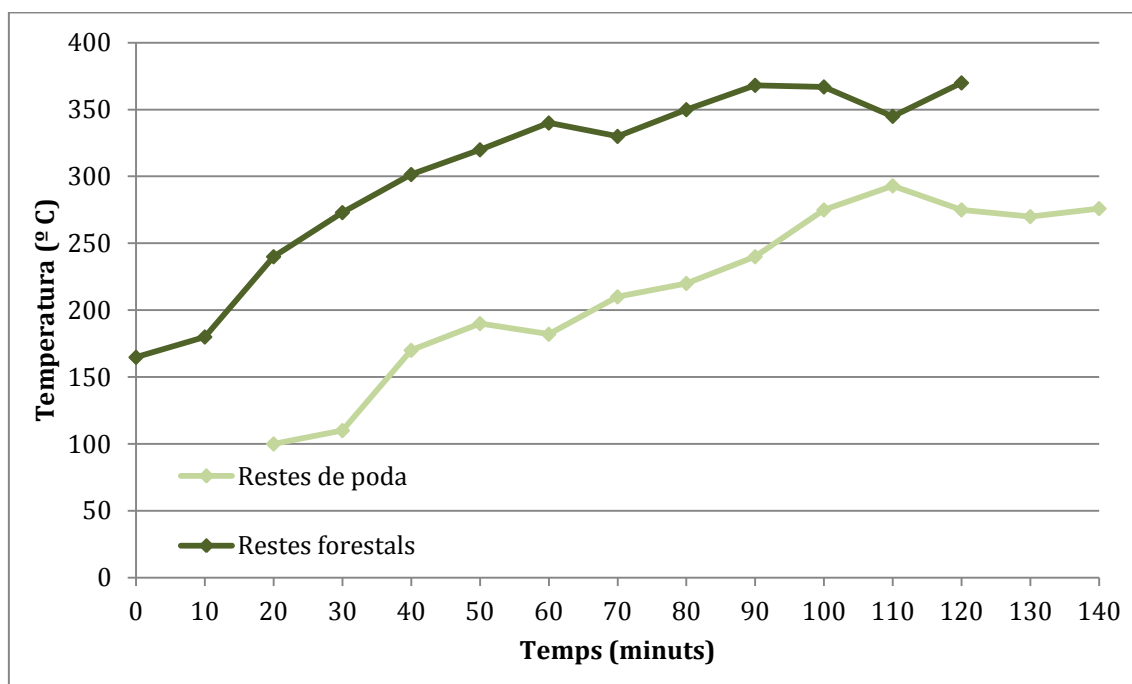


Figura 5.6: Temperatures de la caldera de biocarbó a la primera fase.

Font pròpia.

A la Figura 5.6 s'observa com evolucionen les temperatures a partir dels diferents tipus de residu verd abans d'arribar a la fase de producció de biogàs. Per les restes de poda la temperatura és sempre més baixa que la de restes forestals. Això s'explica per la diferent composició que presenta la fusta d'aquests dos tipus de restes. Les restes forestals estan compostes bàsicament per restes de pi blanc, espècie típicament mediterrània, la qual presenta un percentatge d'aigua molt més baix que no les restes de poda, generalment

morera, les quals tenen una percentatge d'aigua molt més elevat. Aquests nivells d'aigua presents a la fusta eviten que la temperatura augmenti de la mateixa forma que ho fan les restes forestals, ja que l'energia es consumeix per convertir l'aigua de la fusta en vapor d'aigua.

Les restes forestals tenen un alt contingut de resina, la qual fa que aquesta espècie tingui un comportament piròfil. Aquest fet ens dóna una clara explicació del perquè s'assoleixen unes diferències de temperatura tan grans entre un tipus de fusta i un altre. A la Figura 5.7 s'hi veu representada l'evolució de la temperatura al llarg de tot el procés juntament amb el cabal de biogàs, mesurat a partir de la segona fase.

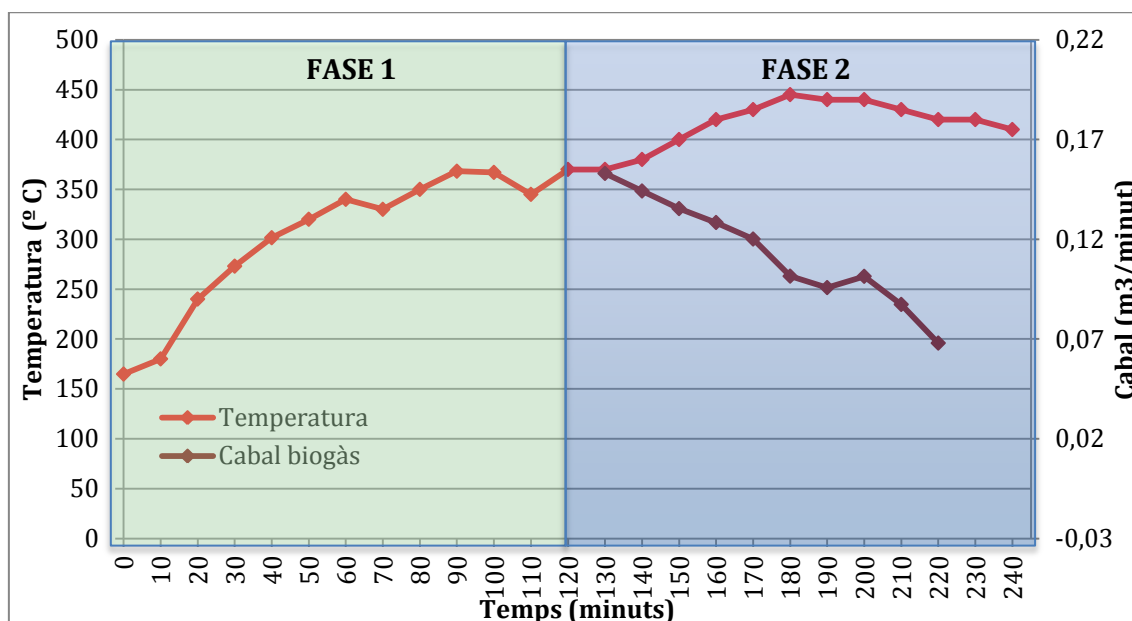


Figura 5.7: Campanya experimental 3. Temperatura i cabal de biogàs.

Font pròpia.

S'observa com a la disminució del cabal de biogàs el segueix una disminució de la temperatura de la caldera.

Just abans de l'obtenció de dades de biogàs, s'observa una disminució de la temperatura de la caldera (minut 125) degut a l'impàs que es produeix al tancar la xemeneia fins que el biogàs augmenta la seva pressió com per poder recircular pel circuit que condueix cap als cremadors. La temperatura màxima, 450°C, s'assoleix a partir de la combustió del biogàs.

Anàlisi de Gasos

Els anàlisis de gasos els fem comparant les dades extretes en la campanya 2 i la 3, en les quals es van fer servir dos tipus diferents de fusta per a la producció de biocarbó. A la Figura 5.8 es fa una comparativa entre els nivells de CO₂ i O₂, i entre els tipus de fusta utilitzats per a la producció de biocarbó.

A la Figura 5.8 s'observa com en el cas de les restes forestals els nivells d'O₂ disminueixen de 14,4 % fins 6,3 % al minut 30 i a partir d'aquest moment assoleixen uns valors mínims i s'estabilitzen. Fins al minut 30 la concentració d'O₂ disminueix, i per això s'observa com el CO₂ s'estabilitza.

Per tant, degut a la manca d' O_2 , la producció de biogàs (fase 2) comença molt abans del previst. És a dir, en aquest procés podríem obtenir una millor eficiència energètica tenint en compte quan comencen a estabilitzar-se els nivells d'oxigen i a partir d'aquest moment començar a recircular el biogàs.

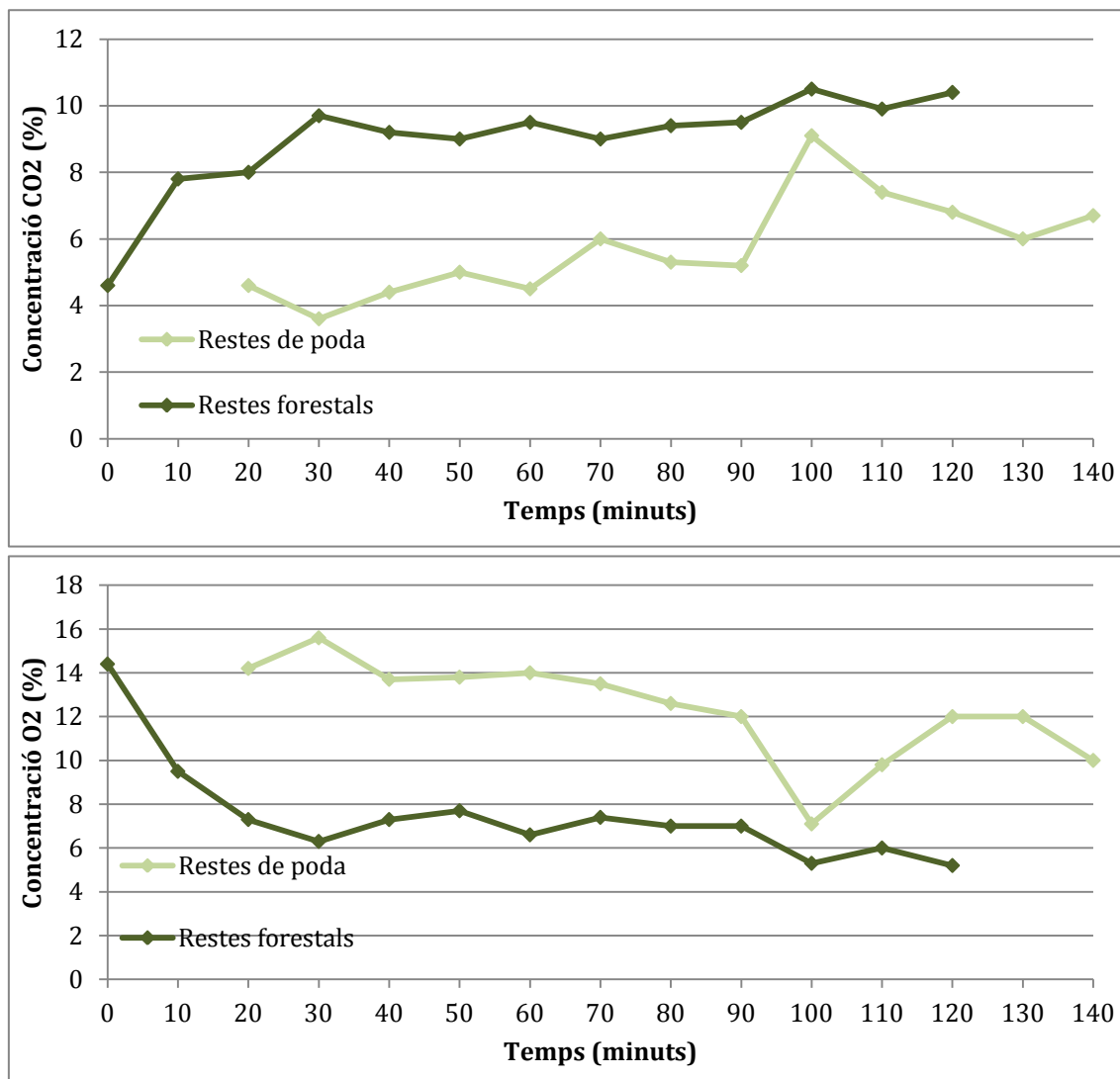


Figura 5.8: Comparativa de nivells de CO₂ i O₂ a la primera fase de les campanyes 2 i 3.
Font pròpia.

En el cas de les restes de poda, s'observa que el comportament dels nivells d'O₂ disminueixen molt lentament i no arriben als mínims adequats per poder començar a produir-se biogàs. Tant els nivells de O₂ com els de CO₂ no s'estabilitzen en cap moment i per això no s'assoleixen les condicions idònies d'una piròlisi, ja que no ens trobem en una situació amb absència d'O₂.

Tot i seguir una mateixa tendència, el percentatge de CO₂ és gairebé la meitat en les restes de poda que en les restes forestals degut al gran contingut d'aigua, fins a un 40%, que conté la fracció de poda.

Segons l'anàlisi elemental, la poda té un 5% menys de carboni que les restes forestals i per això es forma un menor contingut de CO₂. Els nivells d'oxigen són semblants al inici del procés i això

és degut al gas que queda inicialment dins del cilindre estanc és d'origen atmosfèric. Per les restes forestals però, els nivells d'oxigen descendeixen molt més ràpidament que per les restes de poda. Això és degut a l'alt contingut d'aigua que contenen les restes de poda en comparació amb les restes forestals.

6. DISCUSSIÓ

6.1 Discussió dels resultats obtinguts en les campanyes experimentals

Per cada campanya s'han obtingut dades experimentals, aquestes han estat condicionades per diferents factors, com ara la humitat, la temperatura, la composició química de les restes i altres variables. En la taula 6.1 es presenten les dades generals obtingudes en cada una de les tres campanyes.

Taula 6.1: Resultats de les campanyes experimentals.

		Campanya 1	Campanya 2	Campanya 3
Tipus de restes		Poda	Poda	Forestals
Rendiment (%)		18,5	25*	23
Anàlisi elemental final (C) (%)		56,46	67,67	87,93
T ^a Màxima (°C)	Fase1	280	293**	370
	Fase2	500	n.d	445
Biogàs produït (m ³ /h)	Màxim	n.d	n.d	9,2
	Mitjà	n.d	n.d	6,8
CO ₂ Produït (%)	Màxim	n.d	9,8	10,5
	Mitjà	n.d	5,7	8,9
CO Produït*** (%)	Màxim	n.d	>0,3	>0,3
	Mitjà	n.d	>0,3	>0,3

n.d: No disponible

*El biocarbó produït en aquesta campanya no ha quedat totalment carbonitzat. **La temperatura màxima durant la campanya 2 és la de la fase 1 ja que no s'arriba a produir biogàs. ***L'aparell utilitzat per analitzar el CO no mesura concentracions superiors a 4.000ppm que corresponen a un 0,3%.

Font pròpia.

A la campanya 1 s'observa el rendiment més baix de tota la fase experimental del projecte. Aquest baix rendiment s'atribueix a les temperatures assolides durant la campanya, 500 °C. Aquesta temperatura va significar que es carbonitzés massa la poda, fet que va produir la disminució del rendiment.

A partir de tots els rendiments estudiats en campanyes anteriors, realitzades pel projecte biochar de SolucioNAT, s'ha pogut comprovar empíricament com temperatures superiors als 400 °C fan baixar els rendiments tal com passa a la campanya 1.

Durant la campanya 2 el rendiment va ser del 25%. El resultat d'aquest rendiment es va produir perquè no es va assolir la segona fase, la temperatura no era suficientment elevada per carbonitzar tota la poda, fet que va provocar que el biocarbó resultant encara contingués una part de la poda inicial. Per aquesta raó el rendiment d'aquesta campanya és el més elevat ja que com s'ha explicat, no es va poder completar el cicle.

Amb les restes forestals, a la campanya 3 es va aconseguir en rendiment del 23%. A partir d'altres estudis ([HANISOM et al., 2010](#)) s'ha observat que els rendiments òptims per aquest tipus de restes són del 33% i per tant el rendiment aconseguit és baix si el comparem amb les dades bibliogràfiques consultades. La temperatura màxima assolida en aquesta campanya va ser de 445 °C, aquest fet va impedir obtenir uns millors rendiments ja que les restes forestals van quedar més carbonitzades.

En general, els rendiments en que es mou la caldera són del 20% tot i que els rendiments a partir de restes forestals normalment són més elevats que els de restes de poda ([Projecte Biochar SolucioNAT, 2011](#)).

Els anàlisis elementals finals de cada campanya corresponen al percentatge de carboni (C) present en el biocarbó produït. Les restes de poda (morera i pollancre) tenen uns percentatges de carboni (C) en l'anàlisi final inferiors a la de restes forestals (pi blanc) ja que aquests últims tenen un 5% de carboni (C) inicial més elevat.

Durant la campanya 2, al no haver assolit temperatures elevades i com a conseqüència no haver carbonitzar correctament la fusta, l'anàlisi elemental final és superior a l'anàlisi de la campanya 1, ja que com s'ha explicat, en el biocarbó hi quedaven traces de la fusta original.

Les temperatures assolides durant les 3 campanyes realitzades varien significativament. Durant la campanya 1 es va arribar a la màxima temperatura de tot el procés experimental, 500° C, fet que va produir els rendiments més baixos de les 3 campanyes. A la campanya 2 la temperatura no va pujar per sobre dels 300° C i va produir que no es carbonitzés correctament la fusta. La causa d'aquest comportament s'explica en l'elevada quantitat d'aigua present a la fusta, tant a la poda com a la fusta utilitzada com a combustible.

Durant la campanya 3 s'assoleix una temperatura de 445 °C, 45 °C per sobre la temperatura òptima per a la producció de biocarbó, fet que explica el baix rendiment.

Pel que fa la producció de biogàs només es va poder calcular durant la campanya 3 ja que a la campanya 2 no es va arribar a produir suficient biogàs com per poder-se utilitzar com a combustible per la poca temperatura assolida 297 °C.

A la campanya 1 no es tenia el tub de Prandtl ni tampoc s'havia fabricat el recirculador de biogàs per poder-lo mesurar. Per tant, no es tenen dades d'aquesta campanya.

Els nivells de CO₂ de les campanyes 2 i 3 tenen màxims que difereixen en tan sols un 0,7% però mitjanes que difereixen en un 3,2%. Aquestes desigualtats s'expliquen a partir de la diferència de carboni entre les restes de poda i les restes forestals. Com s'ha esmentat anteriorment les restes forestals contenen nivells més alts de carboni que les restes de poda i per tant es pot formar més CO₂.

Els nivells de CO sobrepassen els límits de l'aparell mesurador de gasos emprat, 4.000 ppm, que corresponen a 0,3%, ja que al haver-hi poc oxigen durant la primera fase, la combustió no es realitza correctament.

6.2 Discussió dels resultats obtinguts de les tecnologies estudiades

Per fer una bona discussió dels resultats obtinguts, tant a nivell bibliogràfic com pràctic, és ideal tenir una visualització directe d'aquestes dades, per això es proposa una taula (Taula 6.3) a la qual es troben tots els balanços obtinguts per les diferents tecnologies estudiades.

A la Taula 6.3, trobem l'anàlisi final de les tecnologies, i s'han calculat els seus respectius indicadors ambientals. Es classifiquen les tecnologies més o menys eficients mitjançant els rangs de colors i valors establerts a l'apartat de "Quantificació de l'eficiència de les tecnologies pel tractament del residu verd" (pàgina 35).

A la taula 6.2 es representen els rangs establerts on s'especifica com s'han pres els valors per a cada eficiència.

Taula 6.2: Rang establert segons els resultats dels indicadors d'eficiència.

RANG	EFICIÈNCIA
<10	Negativa
10-30	Baixa
30-50	Moderada
>50	Positiva

Font pròpia.

Taula 6.3: Comparativa dels diferents indicadors establertes per a cada tecnologia estudiada.

TECNOLOGIES EMPLEADES PER TRACTAR EL RESIDU VERD								
INDICADORS	Biocarbó		Compostatge		Abocador		Biomassa	
Balanç energètic	Poder calorífic inferior (PCI):		Poder calorífic inferior (PCI):		Poder calorífic inferior (PCI):		Poder calorífic inferior (PCI):	
	6,8 kWh/m ³		No es disposa de contingut energètic de producció.		5 kWh/m ³		0 kWh/m ³ Pèl·let 3.065 kWh/m ³	
Balanç econòmic	Cost producció del biocarbó: 500€/tona		Cost producció del tractament del compost: 76,07 €/tona		Cost de gestió del residu verd: 46,44 €/tona		Cost de la producció de pèl·let: 180 €/tona	
Balanç ambiental	Kg de CO ₂ retinguts/any		Kg de CO ₂ retinguts/any		Kg de CO ₂ alliberats/any		Kg de CO ₂ alliberats/any	
	67.525 Kg de CO ₂		365 Kg de CO ₂		702.049 kg de CO ₂ *		13,8*	
Balanç social	Impacte visual	3	Impacte visual	2	Impacte visual	1	Impacte visual	3
	Males olors	3	Males olors	2	Males olors	1	Males olors	3
	Generació de llocs de treball	3	Generació de llocs de treball	2	Generació de llocs de treball	1	Generació de llocs de treball	3

*Els resultats corresponen a valors negatius.

Font pròpia.

Taula 6.4: Comparació dels indicadors d'eficiència entre les diferents tecnologies de tractament del residu verd.

	TECNOLOGIES EMPLEADES PER TRACTAR EL RESIDU VERD							
INDICADORS	Biocarbó (B)		Compostatge (C)		Abocador (A)		Biomassa (Bm)	
Balanç energètic (kWh/m³)	6,8	100	0	0	5	73,51	0	0 3.065*
Balanç econòmic (€/tona)	500	100	76,07	15,21	46,44	9,28	180	36
Balanç ambiental (kgCO ₂ /any)	67.525	100	365	0,54	- 702.049	-1.039	-13,8	-0,02
Balanç social (Rang)	9	100	6	66,6	3	33,3	6	66,6
Indicador d'eficiència normalitzat	75		31,4		-312,6		26	
Indicador d'eficiència= 0,25 * BEN - 0,25 * BEC + 0,35 * BA + 0,15 * BS + 25								

*Contingut energètic del pèl·let

Font pròpia.

$$\text{Indicador d'eficiència B} = (0,25 * 100) - (0,25 * 100) + (0,35 * 100) + (0,15 * 100) + 25 = 75$$

$$\text{Indicador d'eficiència C} = (0,25 * 0) - (0,25 * 15,21) + (0,35 * 0,54) + (0,15 * 66,6) + 25 = 31,4$$

$$\text{Indicador d'eficiència A} = (0,25 * 73,51) - (0,25 * 9,28) + (0,35 * (-1.039)) + (0,15 * 33,3) + 25 = -312,6$$

$$\text{Indicador d'eficiència Bm} = (0,25 * 0) - (0,25 * 36) + (0,35 * (-0,02)) + (0,15 * 66,6) + 25 = 26$$

Per la discussió general, s'ha pres com a pauta l'anàlisi de l'eficiència de les tecnologies empleades en el tractament del residu verd.

Com a punt principal, **la tecnologia que ha resultat tenir una eficiència negativa sobre el residu verd, respecte a les altres ha estat l'abocador.**

No només a presentat el valor més baix, sinó que el seu resultat ha estat un valor negatiu. La generació de residus i el mal funcionament de la recollida de residus produeix un impacte sobre medi ambient no només a nivell ambiental, sinó que a nivell social i econòmic.

Un dels problemes principals és que el sistema d'aprofitament que es podria treure a nivell energètic (el biogàs) no hi és present a tots els abocadors, pel que molts d'ells emeten aquests gasos implicats a l'efecte hivernacle repercutint a l'atmosfera, influint sobre la qualitat de l'aire, afectant als individus que habiten prop d'aquests recintes i a la flora i fauna del entorn. L'abocador estudiat (Abocador comarcal de Puigpalter) no incorpora un sistema d'aprofitament del biogàs generat.

Tot i ser la tecnologia que més llocs de treball genera, queda desplaçada degut als elevats valors de les altres variables.

La segona tecnologia amb un impacte negatiu ha estat la planta de biomassa. El balanç energètic comptat és 0, ja que l'energia que s'obté no és deguda a la seva elaboració, sinó a la utilització del producte obtingut, el pèl·let.

El seu balanç ambiental implica una generació de gasos directe a l'atmosfera, i no una retenció d'aquests.

Teòricament, el nombre d'emissions és nul. La majoria d'empreses comercialitzadores de calderes de biomassa, justifiquen que les emissions de CO₂ emeses seran segrestades pel producte produït, la qual cosa no és del tot certa, tal com s'explica al treball.

El cost generat per les despeses de la seva producció, els materials utilitzats, i la creació de la pròpia planta fa que sigui la segona tecnologia més ineficient a nivell econòmic.

El compostatge ha donat com a resultat, un nivell d'eficiència baix.

A més de ser una de les tecnologies més respectuoses amb el medi ambient, reté una part de les emissions dels gasos de l'efecte hivernacle (CO₂, CH₄).

Un altre punt positiu a descriure és que el residu verd que s'utilitza per formar compost, moltes vegades és el mateix que es duu a l'abocador, el qual moltes vegades no és reutilitzat. El fet de tractar-ho com a compost representa un estalvi de les emissions de CO₂ emeses a l'atmosfera.

I per últim, la recerca feta al present estudi ha demostrat mitjançant diversos anàlisis, que a nivell general, per a tots el balanços, **la tecnologia més respectuosa amb el medi ambient, més idònia pel tractament del residu verd i més eficient a nivell d'indicadors, és el biocarbó.**

El poder calorífic del biogàs generat en aquesta tecnologia, és el més elevat (si s'aprofita).

Pel que fa el cost de producció, és el que comporta unes despeses majors (500€/t), degut a que és una tecnologia en fase experimental i el procés no està optimitzat. Aquest fet representa una clara competència amb les actuals tecnologies de producció d'energia i

tractament del residu verd, ja que si aquest sistema es comença a utilitzar, els seus costos serien molt més econòmics.

El profit que es pot extreure d'aquesta tecnologia a nivell energètic és el més rendible de les comparades, ja que s'obté un poder calorífic major ($6,8 \text{ kWh/m}^3$). D'aquesta tecnologia no només s'aprofita el biogàs sinó que també s'obté el biocarbó, que serveix d'estructurador i reté nutrients i humitat pel sòl.

La tecnologia del biocarbó genera pocs llocs de treball , però si es portés a terme a cada municipi, i no només una planta centralitzada per tota la comarca, generaria més ofertes. A més, socialment el seu impacte es mínim.

7. PROPOSTES DE MILLORA

A partir dels anàlisis realitzats a la caldera de biocarbó, s'ha pogut proposar una sèrie de millores, tant en la mateixa caldera, com en el recinte on es troba, per optimitzar-ne el rendiment, millorar la seguretat del personal que hi treballa i disminuir les emissions de gasos contaminants. A continuació es detallen les propostes de millora:

- **Minimització de pèrdues del sistema.** La instal·lació de juntes hermètiques a les portes de la caldera permetria incrementar l'aprofitament del biogàs produït. No s'ha pogut determinar el percentatge de biogàs que es perd durant la segona fase degut a aquest defecte de disseny, però a la Figura 7.1 es pot observar com una part molt important s'escapa, disminuint el biogàs aprofitable i augmentant els nivells de contaminació.



Figura 7.1 Fuita de biogàs.

Font pròpia.

- **Reducció de la concentració de gasos a nivell de terra.** Es proposa alçar també la xemeneia del mig per disminuir la concentració de gasos contaminants prop de la font i així evitar que el plomall caigui ràpidament a nivell de terra i per tant el fum es dilueixi més (Figura 7.2 i 7.3).
- **Reducció dels temps morts entre etapes de producció.** El temps que tarda en refredar-se la caldera fa que sigui molt difícil encadenar les operacions de producció ja que s'ha d'esperar 24 h per poder obrir-la. Per tant incrementa el cost de producció del biocarbó.

La instal·lació d'un serpentí al voltant de la caldera refrigeraria molt més ràpidament la caldera i a la vegada podria utilitzar-se l'aigua escalfada per instal·lacions públiques situades prop de la caldera. En el cas de Porqueres podria utilitzar-se en la zona esportiva.



Figura 7.2: Forn amb xemeneies inicials .

Font: SolucioNAT.



Figura 7.3: Forn amb les xemeneies modificades.

Font pròpia.

A partir de la instal·lació del serpentí, podria plantejar-se l'aprofitament de la calor de tot el procés. Per això però, hauria de fer-se un estudi previ per comprovar la seva viabilitat, ja que el fet de passar aigua per el serpentí durant el procés podria comportar alteracions en el comportament de la temperatura, podent augmentar el temps del procés o bé no deixant completar el cicle.

- **Valorització dels subproductes.** Durant el procés es genera "vinagre de fusta", un líquid que s'obté per el refredament dels gasos de combustió i conté molts elements químics valorats a la indústria i per condicionador de sòls per millorar el terra quan es barreja amb carbó vegetal.

Es proposa analitzar la composició d'aquest vinagre per estudiar les aplicacions que se li podrien donar.

- **Instal·lació d'un detector d'emissions de CO.** El CO és un gas tòxic, es combina amb la hemoglobina a la sang i redueix la concentració d' O_2 a l'organisme. Degut als alts nivells detectats durant la fase d'anàlisi es proposa la instal·lació d'un detector de CO al costat de la caldera per detectar possibles nivells elevats de CO potencialment perillosos per els treballadors de la planta. Caldria sotmetre el projecte a avaluació d'impacte ambiental (AIA).
- **Optimització la producció de biogàs.** El pas de la fase 1 a la fase 2 es realitza a partir de l'observació visual del color i densitat del fum i es dona normalment passats 120 minuts. Durant la campanya 2 es va comprovar, mitjançant l'evolució de l' O_2 , que les concentracions d'aquest eren pràcticament nul·les a partir del minut 30 i per tant ja es començava a produir biogàs.

Per evitar aquest desfasament es proposa la instal·lació d'un mesurador d'O₂ (Medidor de gas MX6 iBRID (H₂S, O₂, CO₂, LEL)) – 2.000 €, per tal de conèixer amb exactitud el moment en que s'ha de recircular el biogàs cap al cremador.

Per la campanya 2 s'ha calculat que es van desaprofitar 20m³ de biogàs, el doble del que es va utilitzar.

- **Optimització dels rendiments.** Els rendiments obtinguts durant les campanyes experimentals han sigut aproximadament del 20% amb una temperatura de 450°C, per aconseguir uns rendiments més elevats, la temperatura no hauria de superar els 400°C.
- **Difusió del biocarbó.** Un aspecte a millorar és el coneixement de la potencialitat del biocarbó, ja que al nostre país és un element molt desconegut fins i tot en ambients tècnics i de gestió ambiental.

Per tant, més que una proposta de millora, esdevindria una proposta en si. Ja que donar a conèixer el producte i els seus beneficis sobre el medi tant a nivell local com global, permetria ampliar-ne els estudis ja que la població se'n interessaria.

Una bona proposta seria comercialitzar el biocarbó, com a producte local, de Km 0 i amb un segrest del 40% de CO₂.

8. PLA DE SEGUIMENT

L'estudi que hem fet sobre el biocarbó tenia data de termini, igual que el projecte en el qual es basava el nostre estudi; per tant les propostes de millora que hem proposat serviran si en un futur es torna i es continua desenvolupant l'estudi del biocarbó.

Com que algunes de les propostes de millora ja les vam poder dur a terme (alçar xemeneies) hem pogut veure que si que milloraven alguns dels aspectes de la producció de biocarbó.

Per altra banda, les altres propostes han estat anotades i estudiades per poder aplicar-les en un futur i així millorar el rendiment i fer més eficient la producció de biocarbó.

Tot i així sàpiguen que l'idea principal d'aquest projecte en va portar a un estudi paral·lel sobre el biocarbó, realitzat per l'empresa solucioNAT, "Projecte Biochar".

La utilització del biocarbó per a la gestió ambiental als municipis, pot comportar beneficis en tres grans àmbits: la millora del sòl, la gestió de residus agrícoles, ramaders i forestals, i la mitigació del canvi climàtic.

Es per això que les principals actuacions que aquest estudi pretén son:

- Produir biocarbó a partir de branca forestal i restes de poda, emprant col·lectius en risc d'exclusió social.
- Aplicar biocarbó als conreus i experimentar la resposta agronòmica.
- Estudiar la viabilitat econòmica de la producció de biocarbó i el balanç de carboni de l'activitat.
- Estudiar millores tecnològiques pel prototip de forn de biocarbó actualment en funcionament.
- Donar a conèixer el biocarbó i els seus beneficis a diversos àmbits: les escoles, els sectors econòmics potencialment interessats (pagesos, centres de jardineria, ...) i la societat en general.
- Documentar, aglutinar i resumir tota la informació generada en l'àmbit del projecte de recerca.

Però per poder assolir molts d'aquest objectius i continuar-ho en un futur es necessari un compromís per part de totes les figures implicades, el Govern, la Municipalitat i però sobre tot els ciutadans.

Un pla de seguiment ben dit no es podria fer en aquest cas, degut a que l'estudi només era per 6 mesos, però si el Ajuntament s'impliqués i estigues interessat en continuar amb la valorització del residu verd hauria de fer:

- Inversió en personal especialitzat.
- Donar facilitats als ciutadans per que portin les restes de jardineria privada.
- Crear un punt de informació respecte al biocarbó i les seves funcionalitats.
- Fer estudis d'anàlisi de gasos periòdicament.



- Fer us propi del biocarbó per la jardineria del propi municipi.

Si es pogués aconseguir una continuïtat d'aquest sistema amb el temps, estem convençuts de que es podria treure un producte útil, sostenible i eficient. Que beneficia a tots.

9. CONCLUSIONS

Aquest projecte ha tingut com a objectiu general determinar quina de les tecnologies que valoritza el residu verd és la més eficient per tal d'obtenir un producte final reutilitzable, beneficiós i sostenible tant ambiental com socialment.

El tractament de residu verd, mitjançant la caldera de biocarbó és la millor tecnologia, la més eficient energèticament, la més respectuosa amb el medi ambient i la que a nivell social representa un menor impacte.

L'eficiència del biocarbó, va lligada al seu procés de formació ja que apart d'aconseguir un fertilitzant d'alta qualitat. També se n'extreu un producte dels gasos que s'emeten, el biogàs. Aquest té com a mitjana un poder calorífic intern d'uns 6,8 kWh/m³.

A més a més, amb el procés que té lloc durant la formació del biocarbó, el 40% del carboni (C) del residu verd original, queda segrestat en el biocarbó i això permet estalviar-se 742 kg d'emissions de CO₂ per cada tona. Per tant, aquests no s'alliberen a l'atmosfera.

Una vegada realitzada la comparació tècnica es pot determinar que el balanç econòmic del compostatge, tot i ser dels més reduïts, no es compensa amb les emissions retingudes en el seu procés. En canvi el biocarbó, genera les despeses de gestió més elevades, però comporta una retenció de emissions de CO₂ 200 vegades superior que el compostatge.

El cost de gestió d'un abocador és mínim en comparació a les altres tecnologies. Però l'impacte social i ambiental provocat per les seves emissions de gasos implicats en l'efecte hivernacle, és molt elevat. En canvi el biocarbó i la biomassa són les tecnologies més ben rebudes a nivell social i més respectuosa amb el medi ambient.

La biomassa emet emissions de CO₂ a l'atmosfera, ja que tot el carboni (C) és alliberat durant la combustió en forma de CO₂, afectant negativament la qualitat del aire. Tot i ser més econòmic que el biocarbó, l'obtenció d'energia no es dona durant el procés de producció sinó amb el producte final.

El biocarbó ha resultat ser una tecnologia més adequada per la valorització del residu verd. L'addició del seu producte, el carbó, a sòls pobres comporta beneficis com: la millora de la qualitat de sòls, l'augment del rendiment dels cultius i la retenció d'elements químics contaminats.

Per millorar la potencialitat del biocarbó s'hauria de donar a conèixer el producte mitjançant la difusió i el coneixement dels seus beneficis sobre el medi. Una bona proposta seria, les compensacions voluntàries de carboni (C) per part d'empreses o institucions, i comercialitzar el biocarbó com a producte amb un segrest del 40% de CO₂, local i de Km 0.

10. BIBLIOGRAFIA

- ARIMANY Marc. Tècnic Àrea de residus, espais verds i cicle de l'aigua Consorci de Medi Ambient i Salut Pública de la Garrotxa. SIGMA 2011)
- BENITO, P., ZALOÑA, M., SOLIVA, M., HUERTA, O. 2009. *Planta de compostatge de Castelldefels i desenvolupament urbanístic*. Castelldefels
- BURRIEL J.A., Gracia C., Ibàñez J.J., Mata T., Vayreda J. 2001. *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal III*. CREAF, Bellaterra. ISBN: 84-931323-8-1
- Del Val, Alfonso. 1997. *El Libro del Reciclaje*. Madrid
- HANISOM, A., KUN, A., HONWEIG, W. 2010. *Biochar as a Fuel: 2. Significant Differences in Fuel Quality and Ash Properties of Biochars from Various Biomass Components of Mallee Trees*. Australia
- HOMANS, W.J., Fisher, K. 1992. *A composting plant as an odour source, compost as an odour killer*. Acta Horticulturae, 302:37-44
- IDAE: Instituto para la diversificación y Ahorro de la energía. 2007. *Manuales de energías renovables. Energía de la biomasa* Madrid, pg.44
- KONGSHUA, G. 1998. *Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production*. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, 28 September-1 October, 18pp.
- KRULL, Evelyn. 2009. *Biochar*. CSIRO Austràlia.
- NAVARRO, Lionel et al. 2008. *Suppression of the MicroRNA Pathway by Bacterial*. Science Vol. 321 no. 5891 pp. 964-967
- RICHARDS, B., Herndon, F. G., Jewell, W. J., Cummings, R. J., White, T. E. (1994). "In situ methane enrichment in methanogenic energy crop digesters". Biomass and Bioenergy: 275-274.
- SAAVEDRA, Deli. 2011. *Proyecto Biochar*. SolucionAT Camallera.
- SOLOMON et al. *Technical Summary. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- TCHOBANOGLOUS, G., THEYSEN, H., A. VIGIL, S. (1995). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Editorial Mc Graw Hill.

- VILA, Marta. *Residu mínim*. UAB 1998
- VAN ZWIETEN, L., Meszaros. I, Downie A., and Joseph S. 2007. *Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment*. *Australian Journal of Soil Research*. 45(8) 629-634

Adreces electròniques

- Agència de Residus de Catalunya
<http://www20.gencat.cat/portal/site/arc/>
- Ajuntament de Porqueres
<http://www.porqueres.org/>
- CTFC: Centre tecnològic Forestal de Catalunya
<http://www.ctfc.cat/>
- CEROCO₂.
<http://www.ceroco2.org/>
- DECOESTILO
<http://www.decoestilo.com/articulo/calefaccion-por-biomasa/>
- Eficiència energètica
<http://www.eficienciaenergetica.com/calculadora-pellets-gasoleo.html>
- Gencat: Generalitat de Catalunya
<http://www.gencat.cat/>
- IDESCAT: institut d'estadística de Catalunya (2011)
<http://www.idescat.cat/>
- Institut Cartogràfic de Catalunya
<http://www.icc.cat/vissir/>
- LandGEM- Environment Tools
<http://www.environmenttools.co.uk/directory/tool/name/landgem/id/120>
- Consell Comarcal Pla de l'Estany
<http://www.plaestany.cat/LinkClick.aspx?fileticket=MkL4zuKeYNU%3d&tabid=111&mid=577>



- OFFSETOPTIONS
<http://www.offsetoptions.com/>
- SOLICLIMA: energia solar
<http://www.soliclima.cat/productes/9-bombes-de-calor.html>

ANNEX

Balanç de les emissions de carboni (C) campanya 2

Biomassa (bm) Poda:

- Pes inicial: 360 kg
- Pes final: 90 kg
- C inicial: 40,52 %
- C final: 74,44 %

Balanç C

440 kg bm → 90 kg biocarbó

$$360 \text{ kg} \frac{40,52 \text{ kg C}}{100 \text{ kg Totals}} = 145,9 \text{ kg C inicial bm}$$

$$90 \text{ kg} \frac{74,44 \text{ kg C}}{100 \text{ kg Totals}} = 67 \text{ kg C final biocarbó}$$

145,9 kg C inicial - 67 kg C biocarbó = 78,9 kg C alliberats

% C final:

$$\frac{78,9 \text{ kg C}}{145,9 \text{ kg Ci}} \times 100 = 54,1 \% \text{ C alliberat}$$

$$\frac{67 \text{ kg Cf}}{145,9 \text{ kg Ci}} \times 100 = 45,9 \% \text{ C segrestat en biocarbó}$$

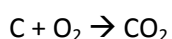
Balanç bm / C

$$\frac{78,9 \text{ kg C}}{360 \text{ kg bm}} \times 100 = 21,9 \% \text{ C alliberat}$$

$$\frac{67 \text{ kg Cf}}{360 \text{ kg bm}} \times 100 = 18,6 \% \text{ C segrestat en biocarbó}$$

Balanç CO₂ (SUPOSANT QUE TOT EL C ES TRANSFORMA EN CO₂)

Combustió sense absència d'O₂



$$1 \text{ kg bm} \times \frac{40,52 \text{ kg C}}{100 \text{ kg C}} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1,485 \text{ kg CO}_2 \text{ alliberat}$$

360 kg bm x 1,485 kg CO₂ = **534,6 kg CO₂ alliberats en tot el procés**

Combustió amb absència d'O₂ (piròlisi)

C + / → C

$$1 \text{ kg bm} \times \frac{21,9 \text{ kg C}}{100 \text{ kg C}} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,803 \text{ kg CO}_2 \text{ alliberat}$$

$$1 \text{ kg bm} \times \frac{18,6 \text{ kg C}}{100 \text{ kg C}} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,682 \text{ kg CO}_2 \text{ segrestat}$$

360 kg bm x 0,803 kg CO₂ = **289,1 kg CO₂ alliberats en tot el procés**360 kg bm x 0,682 kg CO₂ = **245,5 kg CO₂ segrestats en tot el procés****Balanç de les emissions de carboni (C) Campanya 3****Biomassa (bm) Pi:**

- Pes inicial: 609 kg
- Pes final: 140 kg
- C inicial: 49,75 %
- C final: 87,93 %

Balanç C

609 kg bm → 140 kg biocarbó

$$609 \text{ kg} \times \frac{49,75 \text{ kg C}}{100 \text{ kg Totals}} = 302,9 \text{ kg C inicial bm}$$

$$140 \text{ kg} \times \frac{87,93 \text{ kg C}}{100 \text{ kg Totals}} = 123,1 \text{ kg C final biocarbó}$$

302,9 kg C inicial - 123,1 kg C biocarbó = 179,8 kg C alliberats

% C final:

$$\frac{179,8 \text{ kg C}}{302,9 \text{ kg Ci}} \times 100 = \mathbf{59,4 \% C \text{ alliberat}}$$

$$\frac{123,1 \text{ kg Cf}}{302,9 \text{ kg Ci}} \times 100 = \mathbf{40,6 \% C \text{ segrestat en biocarbó}}$$

Balanç bm / C

$$\frac{179,8 \text{ kg C}}{609 \text{ kg bm}} \times 100 = \mathbf{29,5 \% C \text{ alliberat}}$$

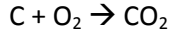
$$\frac{123,1 \text{ kg Cf}}{609 \text{ kg bm}} \times 100 = \mathbf{20,2 \% C \text{ segrestat en biocarbó}}$$

Per tant:

- Per cada 1 kg de biomassa s'alliberen 0,295 kg C
- Per cada 1 kg biomassa es retenen 0,202 kg C

Balanç CO₂(SUPOSANT QUE TOT EL C ES TRANSFORMA EN CO₂)

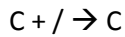
Combustió sense absència d'O₂



$$1 \text{ kg bm} \times \frac{49,75 \text{ kg C}}{100 \text{ kg C}} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1,824 \text{ kg CO}_2 \text{ alliberat}$$

$$609 \text{ kg bm} \times 1,824 \text{ kg CO}_2 = \mathbf{1.110,8 \text{ kg CO}_2 \text{ alliberats en tot el procés (1,11 Tones)}}$$

Combustió amb absència d'O₂ (piròlisi)



$$1 \text{ kg bm} \times \frac{29,5 \text{ kg C}}{100 \text{ kg C}} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1,082 \text{ kg CO}_2 \text{ alliberat}$$

$$1 \text{ kg bm} \times \frac{20,2 \text{ kg C}}{100 \text{ kg C}} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12 \text{ g C}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,741 \text{ kg CO}_2 \text{ segrestat}$$

$$609 \text{ kg bm} \times 1,082 \text{ kg CO}_2 = \mathbf{658,9 \text{ kg CO}_2 \text{ alliberats en tot el procés}}$$

$$609 \text{ kg bm} \times 0,741 \text{ kg CO}_2 = \mathbf{451,3 \text{ kg CO}_2 \text{ segrestats en tot el procés}}$$

